

TUGAS AKHIR -TE 141599

**KONSTRUKSI DIAGRAM *LADDER* DENGAN METODE
PETRI NET UNTUK *FACTORY AUTOMATIC TRAINER***

M. Sunardi
NRP 07111440000037

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Mochammad Rameli
Eka Iskandar, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR -TE 141599

**KONSTRUKSI DIAGRAM *LADDER* DENGAN METODE
PETRI NET UNTUK *FACTORY AUTOMATIC TRAINER***

M. Sunardi
NRP 07111440000037

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Mochammad Rameli
Eka Iskandar, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT -TE 141599

***LADDER DIAGRAM CONSTRUCTION BY PETRI NET
METHODE FOR FACTORY AUTOMATIC TRAINER***

M. Sunardi
NRP 0711144000037

Supervisor
Dr. Ir. Mochammad Rameli
Eka Iskandar, ST., MT.

***ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018***

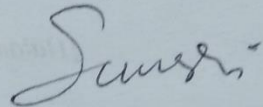
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Konstruksi Diagram Ladder dengan Metode Petri net untuk Factory Automatic Trainer**" adalah merupakan hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



M. Sunardi
NRP 07111440000037

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**KONSTRUKSI DIAGRAM LADDER DENGAN
METODE PETRI NET UNTUK FACTORY
AUTOMATIC TRAINER**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Mochammad Rameli
NIP. 19541227 1981031002

Eka Iskandar, ST., MT.
NIP. 19800528 2008121001



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KONSTRUKSI DIAGRAM LADDER DENGAN METODE *PETRI NET* UNTUK *FACTORY AUTOMATIC TRAINER*

Nama : M. Sunardi
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Mochammad Rameli
Pembimbing 2 : Eka Iskandar ST., MT.

ABSTRAK

Proses produksi pada industri manufaktur memerlukan efisiensi pada proses pengiriman dan seleksi bahan produksi. Saat ini sering dijumpai penggunaan komponen masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan pemantauan operator secara intensif, sedangkan manusia memiliki keterbatasan sumber daya. Oleh karena itu, salah satu cara yang digunakan adalah dengan menggunakan konveyor, *cane crane* dan *vaccum pad* yang dioperasikan secara otomatis. PLC merupakan kontroler yang digunakan untuk mengotomatiskan sistem. Bahasa pemrograman PLC yang digunakan pada penelitian ini adalah diagram *ladder*. Sering dijumpai konstruksi diagram ladder masih didasarkan pada logika programmer, hal ini menyebabkan kurang terstrukturanya diagram ladder yang akan menyulitkan problem solving. Oleh karena itu digunakan metode petri net untuk merancang konstruksi diagram ladder sebagai referensi program. Hasil diagram *ladder* di *download* ke PLC melalui PC menggunakan kabel serial RS-232 dan diimplementasikan ke *plant factory automatic trainer* (FAT) sebagai representasi dari proses produksi di industri manufaktur. Konstruksi diagram *ladder* yang dihasilkan adalah 36 *rung* proses dengan penambahan 10 *timer* dan 13 *memory (relay)*. Waktu yang dibutuhkan untuk sekali proses produksi benda kerja 1 rata-rata 28,60 detik dan benda kerja 2 rata-rata 29,92 detik. Jadi untuk satu siklus proses otomatisasi rata-rata 29,26 detik.

Kata kunci : *Factory Automatic Trainer, Petri net, Diagram Ladder, PLC*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Ladder diagram Construction by Petri net Methode for Factory Automatic Trainer

Name : M. Sunardi
Supervisor 1 : Dr. Ir. Mochammad Rameli
Supervisor 2 : Eka Iskandar ST., MT.

ABSTRACT

The production process in the manufacturing industry now requires efficiency in the shipping and selection process of production materials. Currently often encountered the use of components is still done manually so it requires intensive operator monitoring, while humans have limited resources. Therefore, one of the ways used is to use conveyor, cane crane and vaccum pad which is operated automatically. PLC is the controller used to automate the system. PLC programming language used in this study is a ladder diagram. Often encountered ladder diagramming constructs are still based on programmer logic, this leads to a less structured ladder diagram that will complicate the problem solving. Therefore it is used Petri net method to design ladder diagram construction as reference program. The results of ladder diagram construction are downloaded to PLC through PC using serial RS-232 cable and implemented to plant factory automatic trainer (FAT) as a representation of production process in manufacturing industry. The construction of the resulting ladder diagram is 36 rung processes with the addition of 10 timers and 13 memory addresses. The time required for one workpiece production process 1 averages 28.60 seconds and the workpiece 2 averages 29.92 seconds. So for one cycle the process of automation averages 29.26 seconds.

Keywords : *Factory Automatic Trainer, Petri net, Ladder Diagram, PLC, Rung*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

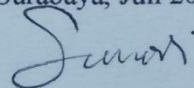
KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Konstruksi Diagram Ladder dengan Metode Petri net untuk Factory Automatic Trainer**” Penulis juga berterimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya karya tulis ini. Oleh karena itu, ucapan terimakasih penulis sampaikan khusus kepada :

1. Orang tua (Ibunda Karpini), serta keluarga (Epri, Cak Kerwanto, Mbak Edang, Vino) atas Doa, dukungan, semangat dan semoga kita selalu dalam lindungan Allah SWT.
2. Bapak Mochamad Rameli dan Bapak Eka Iskandar sebagai pembimbing yang telah menyalurkan ilmu dan bimbingan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
3. Rekan-rekan angkatan 2014 (e54), terutama mahasiswa Teknik Sistem Pengaturan dan seluruh mahasiswa Departemen Teknik Elektro ITS
4. Keluarga etos surabaya dan etoser nusantara terutama sahabat ACTION 14 serta konco kentel yang telah menemani dalam pengerjaan tugas akhir ini
5. Konco sinau (B106) yang turut bekerjasama untuk memanfaatkan waktu bermalam di kampus dan tentu turut membantu
6. Yusrina Manarina atas Doa dan dukungan yang telah diberikan
7. Pihak lain yang ikut membantu penulis tidak dapat disebutkan namanya satu-persatu.

Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2018



M. Sunardi

NRP 07111440000037

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vi
LEMBAR PENGESAHAN	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xii
KATA PENGANTAR	xiv
DAFTAR ISI	xvi
TABEL OF CONTENTS	xviii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika.....	5
1.7 Relevansi atau Manfaat.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Factory Automatic Trainer</i>	7
2.1.1 <i>Saparation and Conveyor transfer Module</i>	9
2.1.2 <i>Pick and place Module</i>	9
2.1.3 <i>Conveyor transfer and Stopper Module</i>	10
2.1.4 <i>Line movement Module</i>	11
2.1.5 <i>Control Unit</i>	12
2.1.6 <i>Sensor dan Aktuator</i>	12
2.2 <i>Programmable Logic Controller</i>	27
2.2.1 <i>Bahasa Pemrograman PLC</i>	27

2.2.2	Bagian-Bagian PLC.....	28
2.2.3	PLC LG Glofa Tipe GM4.....	29
2.3	<i>Petri net</i>	32
2.3.1	Elemen Dasar <i>Ladder diagram</i> dan <i>Petri net</i>	33
2.3.2	Konstruksi <i>Petri net</i> dan <i>Ladder diagram</i>	33
2.3.3	Aturan Konversi <i>Petri net</i> ke Diagram <i>Ladder</i>	34
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM		37
3.1	Perumusan Sistem.....	38
3.1.1	Langkah Kerja Sistem	39
3.1.2	List Data <i>Input</i> dan <i>Output</i>	48
3.2	Perancangan <i>Petri net</i> Sistem.....	50
3.2.1	Perumusan Program	50
3.2.2	Perancangan <i>Petri net</i>	54
3.3	Pemrograman <i>Ladder diagram</i>	66
3.3.1	Pengalamatan <i>Input</i> dan <i>output</i>	66
3.3.2	Proses konstruksi <i>Ladder diagram</i>	69
BAB 4 IMPLEMENTASI DAN ANALISA.....		87
4.1	Proses Implementasi	87
4.1.1	Pengkabelan	87
4.1.2	Konfigurasi	90
4.2	Uji Sistem.....	90
4.2.1	Hasil Pengujian	105
BAB 5 PENUTUP		109
5.1	Kesimpulan.....	109
5.2	Saran.....	109
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN		113
RIWAYAT HIDUP.....		123

TABEL OF CONTENTS

TITLE PAGE	Error! Bookmark not defined.
STEATMENT AUTHENTICITY FINAL PROJECT	vi
VALIDITY SHEET	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xii
PREFACE	xiv
TABEL OF CONTENTS	xviii
LIST OF FIGURE	xvii
LIST OF TABLE	xxiii
CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1.1 <i>Background</i>	1
1.2 <i>Formulation of Problem</i>	2
1.3 <i>Limitations of Problem</i>	2
1.4 <i>Research purpose</i>	2
1.5 <i>Reserach Metodology</i>	3
1.6 <i>Systematic</i>	5
1.7 <i>Relevance</i>	6
CHAPTER 2 LITERATURE REVIEW	7
2.1 <i>Factory Automatic Trainer</i>	7
2.1.1 <i>Saparation and Conveyor transfer Module</i>	9
2.1.2 <i>Pick and place Module</i>	9
2.1.3 <i>Conveyor transfer and Stopper Module</i>	10
2.1.4 <i>Line movement Module</i>	11
2.1.5 <i>Control Unit</i>	12
2.1.6 <i>Sensor and Actuator</i>	12
2.2 <i>Programmable Logic Controller</i>	27
2.2.1 <i>PLC Programming Language</i>	27
2.2.2 <i>Parts of PLC</i>	28

2.2.3	<i>PLC LG Glofa Type GM4</i>	29
2.3	<i>Petri net</i>	32
2.3.1	<i>Elemen Dasar Ladder diagram dan Petri net</i>	33
2.3.2	<i>Basic Element of Ladder Diagram and Petri Net</i> ...	33
2.3.3	<i>Petri Net Corversion Rules to Ladder Diagram</i>	34
CHAPTER 3 SYSTEM DESIGN		37
3.1	<i>Designing of System</i>	38
3.1.1	<i>Work Step of System</i>	39
3.1.2	<i>List Input and Output Data</i>	48
3.2	<i>Designing Petri Net of System</i>	50
3.2.1	<i>Designing of Program</i>	50
3.2.2	<i>Designing of Petri Net</i>	54
3.3	<i>Programming Ladder diagram</i>	66
3.3.1	<i>Input and output Addressing</i>	66
3.3.2	<i>Ladde Diagram Construction Process</i>	69
CHAPTER 4 IMPLEMENTATION AND ANALYSIS		87
4.1	<i>Implementation Process</i>	87
4.1.1	<i>Wiring</i>	87
4.1.2	<i>Configuration</i>	90
4.2	<i>System Testing</i>	90
4.2.1	<i>Testing Result</i>	105
CHAPTER 5 CONCLUTION		109
5.1	<i>Conclution</i>	109
5.2	<i>Sugestion</i>	109
BIBLIOGRAPHY		111
ENCLOSURE		113
BIOGRAPHY		123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Factory automatic trainer [1]	7
Gambar 2.2	Benda kerja FAT	8
Gambar 2.3	Separation and conveyor transfer module [1]	9
Gambar 2.4	Pick and place module [1]	10
Gambar 2.5	Conveyor transfer and stopper module [1]	11
Gambar 2.6	Line movement module [1]	11
Gambar 2.7	Control Unit Module [1]	12
Gambar 2.8	Posisi sensor pada FAT	13
Gambar 2.9	Posisi aktutor pada FAT	13
Gambar 2.10	Proximity sensor, Capacitive sensor dan Photo sensor ..	14
Gambar 2.11	Grafik kerja inductive sensor [4]	14
Gambar 2.12	Struktur capasitive sensor [4]	15
Gambar 2.13	Grafik kerja capasitive proximity [4]	16
Gambar 2.14	Cara kerja transmission type sensor [4]	17
Gambar 2.15	Optical sensor FAT	17
Gambar 2.16	Cara kerja <i>mirror reflective type</i> sensor [4]	17
Gambar 2.17	Cara kerja diffuse reflective type sensor [4]	18
Gambar 2.18	Photo fiber sensor FAT	18
Gambar 2.19	Transmission type Sensor [4]	19
Gambar 2.20	Diffuse reflective type [4]	19
Gambar 2.21	Konveyor belt FAT	20
Gambar 2.22	Pneumatik separaion FAT	20
Gambar 2.23	Pneumatik untuk magazine supply FAT	21
Gambar 2.24	Pick and place FAT	21
Gambar 2.25	Cara kerja rank & pinion type of rotary cylinde [5]	22
Gambar 2.26	Drilling machine [6]	23
Gambar 2.27	Mata bor kusus untuk pengerjaan tertentu [6]	25
Gambar 2.28	Drilling Machine FAT	26
Gambar 2.29	Finger cylinder pada line movement module FAT	26
Gambar 2.30	Cara kerja Finger grip [7]	27
Gambar 2.31	Intruccion list (IL) [2]	29
Gambar 2.32	Ladder diagram (LD)	30
Gambar 2.33	Fuction block diagram (FBD) [2]	30
Gambar 2.34	PLC LG tipe GM4 pada FAT	31
Gambar 2.35	Komponen Petri net	32

Gambar 2.36 Model petri net sederhana [3].....	35
Gambar 2.37 Rangkaian self-holding	35
Gambar 2.38 Diagram ladder hasil konversi.....	36
Gambar 2.39 Diagram ladder hasil modifikasi.....	36
Gambar 3.1 Flowchart perancangan program konstruksi LD	37
Gambar 3.2 Konstruksi FAT	38
Gambar 3.3 Konstruksi conveyor transfer dan separation	39
Gambar 3.4 Konstruksi pick and place	41
Gambar 3.5 Konstruksi modul conveyor transfer and stopper.....	44
Gambar 3.6 Konstruksi modul line movement.....	46
Gambar 3.7 Petri net step 1	54
Gambar 3.8 Petri net step 2	54
Gambar 3.9 Petri net step 3	55
Gambar 3.10 Petri net step 4	55
Gambar 3.11 Petri net step 5	56
Gambar 3.12 Petri net step 6	56
Gambar 3.13 Petri net Step 7.....	57
Gambar 3.14 Petri net step 8	57
Gambar 3.15 Petri net step 9	57
Gambar 3.16 Petri net step 10	58
Gambar 3.17 Petri net step 11	58
Gambar 3.18 Petri net step 12	58
Gambar 3.19 Petri net step 13	59
Gambar 3.20 Petri net step 14	59
Gambar 3.21 Peteri net step 15.....	59
Gambar 3.22 Petri net step 16	60
Gambar 3.23 Petri net step 17	60
Gambar 3.24 Petri net step 18	60
Gambar 3. 25 Petri net step 19	61
Gambar 3.26 Petri net step 20	61
Gambar 3.27 Petri net step 21	62
Gambar 3.28 Petri net step 22a.....	62
Gambar 3.29 Petri net Step 22b.....	63
Gambar 3.30 Pteri net step 23a.....	63
Gambar 3.31 Petri net step 23b	64
Gambar 3.32 Petri net step 24	64

Gambar 3.33 Program Petri net FAT	1
Gambar 3.34 PN step 1.....	70
Gambar 3.35 Ladder diagram step 1	70
Gambar 3.36 PN step 2.....	70
Gambar 3.37 Ladder diagram step 2	70
Gambar 3.38 PN step 3.....	71
Gambar 3.39 Ladder diagram step 3	71
Gambar 3.40 Ladder diagram klasifikasi benda kerja.....	71
Gambar 3.41 PN step 4.....	72
Gambar 3.42 Ladder diagram step 4	72
Gambar 3.43 PN step 5.....	72
Gambar 3.44 Ladder diagram step 5	72
Gambar 3.45 PN step 6.....	73
Gambar 3.46 Ladder diagram step 6	73
Gambar 3.47 PN step 7.....	73
Gambar 3.48 Ladder diagram step 7	74
Gambar 3.49 PN step 8.....	74
Gambar 3.50 Ladder diagram step 8	74
Gambar 3.51 PN step 9.....	74
Gambar 3.52 Ladder diagram step 9	75
Gambar 3.53 PN step 10.....	75
Gambar 3.54 Ladder diagram step 10	75
Gambar 3.55 PN step 11.....	75
Gambar 3.56 Ladder diagram step 11	76
Gambar 3.57 PN step 12.....	76
Gambar 3.58 Ladder diagram step 12	76
Gambar 3.59 Ladder diagram rotary cylinder down	76
Gambar 3.60 Ladder diagram rotary cylinder up.....	76
Gambar 3.61 PN step 13.....	77
Gambar 3.62 Ladder diagram step 13	77
Gambar 3.63 PN step 14.....	77
Gambar 3.64 Ladder diagram step 14	78
Gambar 3.65 PN step 15.....	78
Gambar 3.66 Ladder digaram step 15	78
Gambar 3.67 PN step 16.....	78
Gambar 3.68 Ladder diagram step 16	79

Gambar 3.69 PN step 17	79
Gambar 3.70 Ladder diagram step 17	79
Gambar 3.71 PN step 18	79
Gambar 3.72 Ladder diagram step 18	80
Gambar 3.73 PN step 19	80
Gambar 3.74 Ladder diagram step 19	80
Gambar 3.75 PN step 20	80
Gambar 3.76 Ladder diagram step 20	81
Gambar 3.77 PN step 21	81
Gambar 3.78 Ladder diagram step 21	81
Gambar 3.79 PN step 22a	82
Gambar 3.80 Ladder diagram step 22a	82
Gambar 3.81 PN step 22b	82
Gambar 3.82 Ladder diagram step 22b	82
Gambar 3.83 PN step 23a	83
Gambar 3.84 Ladder diagram step 23a	83
Gambar 3.85 PN step 23b	83
Gambar 3.86 Ladder diagram step 23b	84
Gambar 3.87 PN step 24	84
Gambar 3.88 Ladder diagram step 24	84
Gambar 3.89 Ladder diagram FinDo	84
Gambar 3.90 Ladder diagram FinFo	85
Gambar 3. 91 Ladder diagram FinUp	85
Gambar 4.1 Wiring sistem FAT	87
Gambar 4.2 Wiring input PLC LG	88
Gambar 4.3 Wiring output PLC LG	89
Gambar 4.4 Hasil pengkabelan	89
Gambar 4.5 Konfigurasi PC ke PLC	90
Gambar 4.6 Cylinder insert benda kerja	90
Gambar 4.7 Implementasi LD step 1	90
Gambar 4.8 Cylinder bergerak return	91
Gambar 4.9 Implementasi LD step 2	91
Gambar 4.10 Konveyor 1 aktif	91
Gambar 4.11 Implementasi LD step 3	91
Gambar 4.12 Cylinder mendorong benda kerja	92
Gambar 4.13 Implementasi LD step 4	92

Gambar 4.14	Cylinder eject return.....	92
Gambar 4.15	Implementasi LD step 5.....	92
Gambar 4.16	Rotary cylinder bergerak CW	93
Gambar 4.17	Implementasi LD step 6.....	93
Gambar 4.18	Rotary cylinder bergerak ke bawah.....	93
Gambar 4.19	Implementasi LD step 7 (1)	93
Gambar 4.20	Implementasi LD step 7 (2)	93
Gambar 4.21	Implementasi LD step 8.....	94
Gambar 4.22	Rotary cylinder bergerak ke atas.....	94
Gambar 4.23	Implementasi LD step 9 (1)	94
Gambar 4.24	Implementasi LD step 9 (2)	94
Gambar 4.25	Rotary cylinder bergerak CCW.....	95
Gambar 4.26	Implementasi LD step 10.....	95
Gambar 4.27	Rotary cylinder bergerak ke bawah.....	95
Gambar 4.28	Implementasi LD step 11 (1)	95
Gambar 4.29	Implementasi LD step 11 (2)	95
Gambar 4.30	Rotary cylinder bergerak ke atas (standby)	96
Gambar 4.31	Implementasi LD step 12 (1)	96
Gambar 4.32	Implementasi LD step 12 (2)	96
Gambar 4.33	Konveyor 2 aktif	96
Gambar 4.34	Implementasi LD step 13 (1)	97
Gambar 4.35	Implementasi LD step 13 (2)	97
Gambar 4.36	Machine drill bergerak ke bawah.....	97
Gambar 4.37	Implementasi LD step 14.....	97
Gambar 4.38	Machine drill aktif	98
Gambar 4.39	Implementasi LD step 15.....	98
Gambar 4.40	Machine drill bergerak ke atas	98
Gambar 4.41	Implementasi LD step 16.....	98
Gambar 4.42	Stopper bergerak ke atas	99
Gambar 4.43	Implementasi LD step 17.....	99
Gambar 4.44	Finger cylinder bergerak backfoward.....	99
Gambar 4.45	Implementasi LD step 18.....	100
Gambar 4.46	Rotary cylinder bergerak ke bawah.....	100
Gambar 4.47	Implementasi LD step 19 (1)	100
Gambar 4.48	Implementasi LD step 19 (2)	100
Gambar 4.49	Finger grip menjepit benda hasil produksi	101

Gambar 4.50 Implementasi LD step 20	101
Gambar 4.51 Finger cylinder bergerak ke atas.....	101
Gambar 4.52 Implementasi LD step 21 (1).....	102
Gambar 4.53 Implementasi LD step 21 (2).....	102
Gambar 4.54 Finger cylinder bergerak foward	102
Gambar 4.55 Implementasi LD step 22a.....	102
Gambar 4.56 Implementasi LD step 22b	103
Gambar 4.57 finger cylinder menuju pengepakan 2.....	103
Gambar 4.58 Implementasi LD step 23a (1)	103
Gambar 4.59 Implementasi LD step 23a (2)	103
Gambar 4.60 Finger cylinder menuju pengepakan 1	104
Gambar 4.61 Implementasi LD step 23b (1).....	104
Gambar 4.62 Implementasi LD step 23b (2).....	104
Gambar 4.63 Finger grip melepaskan benda kerja	105
Gambar 4.64 Implementasi LD step 24 (1).....	105
Gambar 4.65 Implementasi LD step 24 (2).....	105
Gambar 4.66 Grafik waktu hasil pengujian	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi benda kerja FAT	8
Tabel 2.2 Deteksi sensor pada benda kerja.....	8
Tabel 2.3 Standar deteksi material	15
Tabel 2.4 Geometri mata bor (twist drill) [6]	24
Tabel 2.5 Pengalamatan PLC LG	31
Tabel 2.6 Elemen dasar ladder diagram dan Petri net [10]	33
Tabel 2.7 Konstruksi Petri net dan lader diagram [10]	34
Tabel 3.1 Data input modul 1	39
Tabel 3.2 Penambahan input program.....	40
Tabel 3.3 Data output modul 1	40
Tabel 3.4 Tahapan proses Modul 1	41
Tabel 3.5 Data input modul 2	42
Tabel 3.6 Data output modul 2	42
Tabel 3.7 Tahapan proses modul 2	43
Tabel 3.8 Data input modul 3	44
Tabel 3.9 Data output modul 3	45
Tabel 3.10 Tahapan proses modul 3.....	45
Tabel 3. 11 Data input modul 4	46
Tabel 3.12 Data output modul 4.....	46
Tabel 3.13 Tahapan proses modul 4.....	47
Tabel 3.14 List data input FAT.....	48
Tabel 3.15 List data <i>output</i> FAT.....	49
Tabel 3.16 Perumusan program FAT	50
Tabel 3.17 Pengalamatan digital input	66
Tabel 3.18 Pengalamatan digital output	67
Tabel 3.19 Pengalamatan Memory	68
Tabel 3.20 Pengalamatan Timer pada program PLC	68
Tabel 4.1 Hasil pengujian pada FAT	106

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam industri, terdapat berbagai macam bahan yang digunakan sebagai proses produksi. Pada prosesnya, bahan-bahan tersebut perlu dipindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain untuk keperluan proses berikutnya. Pada proses pemindahan tersebut perlu diperhatikan jenis bahan, sumber daya yang dibutuhkan, waktu dan efesiensinya.

Pada penelitian ini, bahan yang dipindahkan adalah berupa benda padatan, benda tersebut dipindahkan melalui beberapa tahapan yang melibatkan alat pemindahan barang seperti konveyor, *rotary cylinder* (*Vacuum Pad*) dan *finger cylinder* (*Cane Crane*). Tahapan tersebut meliputi pengiriman, seleksi, pemindahan dan proses produksi hingga pengepakan [1]. Komponen-komponen tersebut terintegrasi sehingga proses antar komponen dapat dijalankan secara otomatis sesuai dengan sekuan yang telah ditentukan. Untuk menjalankan sistem secara otomatis diperlukan sebuah kontroler, dalam hal ini kontroler yang digunakan adalah *Programmable Logic Controller* (PLC). Bahasa pemrograman PLC berdasarkan *standart internasional* IEC 61131-3 adalah *ladder diagram* (LD), *function block diagram* (FBD), *structure text* (ST), *instruction list* (IL) dan *sqquential function chart* (SFC) [2]. Bahasa pemrograman yang digunakan pada penelitian ini adalah *ladder diagram*.

Proses produksi benda kerja diaplikasikan pada *plant factory automatic trainer* (FAT) dengan banyak langkah (*sequensce*) yang harus dilalui. Untuk mempermudah perancangan konstruksi *ladder diagram* perlu metode khusus sebagai acuan pembuatan program dan sebagai referensi apabila terjadi *troubleshoot*. Selain itu, penggunaan metode khusus diharapkan dapat meminimalkan program serta membuat konstruksi *ladder diagram* menjadi lebih terstruktur. Metode yang digunakan adalah *Petri net*, yakni metode grafik dengan node yang saling berhubungan untuk menggambarkan urutan proses [3]. *Petri net* digunakan untuk merancang program sesuai urutan proses sistem otomasi pada *plant* kemudian program tersebut dikonversi ke *ladder diagram*. Salah satu kelebihan metode *Petri net* adalah memiliki *software* sendiri sehingga dapat disimulasikan terlebih dahulu sebelum dikonversi. Perancangan *ladder diagram* diaplikasikan pada PLC LG Glofa dengan tipe GM4 serta diimplementasikan pada kontrol proses *plant factory automatic trainer*.

1.2 Permasalahan

Berikut merupakan permasalahan yang diselesaikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Proses pemindahan benda dan seleksi benda yang masih dilakukan secara manual oleh operator, sehingga membutuhkan pengawasan dan pengaturan yang intensif terhadap benda yang sedang dipindahkan.
- b. Perancangan *kontruksi ladder diagram* yang kurang terstruktur dalam pembuatan dan *problem solving*, dikarenakan pada pembuatan *kontruksi ladder diagram* masih menggunakan logika perorangan yang belum digunakan referensi metode khusus.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini akan difokuskan untuk perancangan konstruksi *ladder diagram* menggunakan metode *Petri net* pada proses otomatisasi *plant factory automatic trainer* yang akan diprogram pada *Programmable Logic Controller (PLC)* LG GLOFA dengan tipe PLC GM4. Tahap konversi pemodelan *petri net* ke *ladder diagram* pada penelitian ini digunakan cara *self-holding*. Perancangan dengan metode *Petri net* disimulasikan menggunakan *software GreatSPN Editor*.

Tahapan proses pada *plant FAT* dirancang berdasarkan berdasarkan proses produksi bahan baku produk. Tahap yang pertama ialah *supply* bahan baku, pengiriman barang dan pemilihan bahan baku produk menggunakan modul *separation and conveyor transfer*, tahap kedua ialah pemidahan benda menggunakan vacuum (*pick and place module*), tahap ketiga ialah proses produksi dan pengiriman barang (*Conveyor transfer and stopper module*) dan tahap terakhir adalah pengapakan menggunakan *cane crane (Line Movement module)*.

Proses produksi benda kerja yang dirumuskan adalah benda kerja diproduksi satu persatu hingga selesai kemudian benda kerja dimasukkan kembali untuk proses berikutnya.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Membuat sistem otomasi untuk proses produksi pada *plant factory automatic trainer* (FAT) sesuai dengan sekuen yang diinginkan.
- b. Merancang konstruksi *ladder diagram* menggunakan metode *Petri net*. *Ladder diagram* tersebut diprogram pada *programmable logic controller* (PLC) LG GLOFA untuk menjalankan *plant factory automatic trainer*.

1.5 Metodologi

a. Studi Literatur

Studi literatur merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk menambah wawasan dan mempelajari teori-teori yang menunjang proses pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini. Literatur yang dapat digunakan yakni, buku, paper, jurnal, artikel maupun *website* yang bertaraf nasional dan internasional, Serta melalui hasil konsultasi dengan dosen pembimbing.

b. Observasi dan Analisa Masalah

Observasi merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait penelitian yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini. Informasi tersebut dapat berupa penggunaan metode *Petri net* dan analisa penelitian sebelumnya guna mengetahui kelebihan dan kekurangan pada sehingga diharapkan pada penelitian ini dapat menyempurnakan kekurangan tersebut.

c. Pendataan *input* dan *output*

Pada pengerjaan tugas akhir ini digunakan *plant factory automatic trainer* yang terdiri atas beberapa komponen yang menunjang *plant* tersebut, yakni seperti sensor, aktuator, *conveyor*, *pick and place*, dll. Untuk menjalankan sistem secara otomasi menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) LG maka diperlukan data *Input* dan *Input* pada *plant factory automatic trainer*, data tersebut akan digunakan untuk merancang program *Petri net* yang kemudian program tersebut di *convert* ke *ladder diagram* dan akan dihubungkan pada komponen-komponen yang telah didata pada *plant* melalui PLC LG untuk dikendalikan proses pemindahan benda secara otomasi sesuai dengan program yang telah dibuat. Data tersebut yakni, data *Input* seperti sensor dan tombol *pushbutton* sebagai *start*. Kemudian untuk data *output* adalah *conveyor*, pneumatik, mesin *drilling*, *pick and place*, dan *line movement*.

- d. Perancangan & Simulasi *Petri net*
Perancangan merupakan sebuah kegiatan untuk menggabungkan beberapa komponen sub sistem menjadi sebuah sistem baru yang terintegrasi, dengan menggabungkan tiap-tiap *node* (*place* dan *transition*) pada metode *Petri net* yang merepresentasikan *input* dan *output* dari sistem. Perancangan ini dikerjakan berdasarkan data yang telah diperoleh dari sistem *factory automatic trainer* yang kemudian dirancang dengan menggunakan metode *Petri net* pada *software GreatSPN Editor*.
- e. Konversi *Petri net* ke *Ladder diagram*
Perancangan program yang telah dibuat pada *Petri net* dikonversi pada *ladder diagram* untuk diprogram pada PLC LG menggunakan *software* GMWIN dengan tipe PLC GM4. Konversi *Petri net* ke *Ladder diagram* dilakukan secara manual dengan pengelompokan *Relay*, *input* dan *output* program.
- f. Simulasi Program pada Software GMWIN
Simulasi program pada *software* GMWIN apabila program *ladder diagram* telah selesai dibuat. Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui bahwa proses otomatisasi sistem yang telah dirancang telah berjalan sesuai dengan yang diinginkan serta kesesuaian data *input* dan *output*.
- g. Wiring PLC ke Factory Automatic Trainer
Tahap ini merupakan tahap integrasi antara alat PLC LG dengan *plant factory automatic trainer* menggunakan kabel. Bagian *wiring* antara lain komponen sensor *proximity*, sensor *fiber optic*, sensor *capasitif*, mesin *drilling*, *conveyor 1*, *conveyor 2*, *pick and place*, *line movement* dan proses *starting*.
- h. Tahap Pengujian
Tahap pengujian dilakukan kepada beberapa bagian, bagian yang pertama adalah perancangan program pada *Petri net*, kemudian pengujian simulasi pada *software* GMWIN dengan program *ladder diagram* sebelum diimplementasikan pada *plant* menggunakan PLC LG. Tahap pengujian yang kedua adalah pada *wiring* PLC LG dengan *plant factory automatic trainer* di ruang kerjasama Teknik Sistem Pengaturan Departemen Teknik Elektro ITS. Pengujian terhadap masing *wiring* komponen dilakukan untuk mengetahui komponen bekerja dengan baik atau tidak, kemudian antara program dengan *plant* telah terhubung dengan baik atau terdapat kendala.

Tahap terakhir adalah pengujian secara keseluruhan proses otomasi pada *plant factory automatic trainer*.

i. Analisa dan Evaluasi

Analisa dilakukan terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan, baik itu pengujian pada program yang telah dibuat pada *Petri net* maupun program yang telah dikonversi ke *ladder diagram*. Analisa juga dilakukan pada implementasi program pada *plant factory automatic trainer*. Apabila pada ketiga bagian tersebut belum sesuai dengan spesifikasi yang telah diinginkan maka perlu dilakukan evaluasi.

j. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dari proses pengerjaan tugas akhir ini, laporan yang disusun berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir yang telah dikerjakan yang meliputi pendahuluan, studi literatur, tinjauan pustaka, perancangan, implementasi, pengujian dan analisa, serta penutup.

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi atas lima bab yang diuraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab pertama membahas mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi atau manfaat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini membahas mengenai teori dasar dalam merancang dan membuat suatu program otomasi, pemahaman dasar yang perlu dipahami, yakni *plant factory automatic trainer*, programmable logic controller (PLC) dan *Petri net*.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Bagian ini merupakan tahapan perancangan sistem otomasi, perancangan yang dibahas adalah membuat program *Petri net*, konversi *Petri net* ke *ladder diagram*, PLC ke *plant factory automatic trainer*.

BAB IV IMPLEMENTASI DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan mengenai impleementasi sistem otomasi dari hasil perancangan yang telah dibuat pada bab sebelumnya serta analisa sistem mengenai program *Petri net*, hasil konstruksi *ladder diagram*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil perancangan sistem, implementasi dan analisa mengenai konstruksi *ladder diagram* yang diimplementasikan pada PLC LG Gloga tipe GM4 untuk proses otomasi *plant factory automatic trainer* dengan menggunakan metode *Petri net*.

1.7 Relevansi atau Manfaat

Factory Automatic Trainer (FAT) merupakan gambaran proses di industri yang digunakan sebagai media pemindahan dan seleksi benda yang dilakukan dengan proses otomasi menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) LG. Perancangan program *ladder diagram* pada PLC dibuat dengan menggunakan metode *Petri net* sehingga konstruksi *ladder diagram* menjadi terstruktur. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pihak industri mengenai proses otomasi dengan perancangan konstruksi *ladder diagram* yang terstruktur dan dapat dijadikan sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa mengenai gambaran proses sederhana yang terdapat di industri otomasi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Tugas akhir ini membahas mengenai aplikasi sistem otomasi pada sebuah *plant* yang merepresentasikan proses sederhana yang ada pada dunia industri. *Plant* yang dimaksud adalah *factory automatic trainer*. Untuk membuat sebuah program dan perancangan sistem otomasi diperlukan pemahaman dasar mengenai komponen *plant*, kontroler dan metode yang digunakan. Bab ini merupakan penjelasan mengenai pemahaman dasar yang menunjang perancangan sistem otomasi pada *plant factory automatic trainer*.

2.1 *Factory Automatic Trainer*

Factory automatic trainer (FAT) merupakan alat yang digunakan sebagai media pembelajaran proses otomasi industri, alat tersebut merupakan serangkaian tahapan untuk menyeleksi benda dan memindahkan benda, serta sebagai proses produksi sebuah benda menggunakan *drilling machine*. FAT dilengkapi 4 sub modul yang diintegrasikan sehingga saling berhubungan untuk diaplikasikan secara otomasi seperti pada Gambar 2.1. Modul tersebut adalah *Line movement Module*, *Separation Module*, *Stopper Module*, dan *Pick and place Modul*. *Factory Automatic Trainer* dilengkapi dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) LG tipe GM4 yang dihubungkan melalui port-port pada *control panel* yang terdapat pada *base control unit* [1].



Gambar 2.1 *Factory automatic trainer* [1]

Pada dasarnya FAT merupakan alat yang digunakan untuk merepresentasikan proses di industri mengenai proses mengolah dan memproduksi benda kerja menjadi produk sesuai yang diharapkan, serta melalui proses pengiriman benda. Proses produksi tersebut digunakan bahan baku benda kerja yang dikirimkan melalui *megazine* (tempat penampungan bahan baku benda kerja) dan berakhir pada proses pengepakan. Benda kerja tersebut merupakan benda padat yang dikirimkan menggunakan alat konveyor, *rotary cylinder* dan *finger cylinder*. Jenis benda kerja FAT adalah seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Benda kerja FAT

Berikut merupakan Tabel 2.1 penjelasan dari benda kerja FAT.

Tabel 2.1 Klasifikasi benda kerja FAT

No	Keterangan	Warna	Jenis Material
1	Benda kerja 1	Biru	Plastik
2	Benda kerja 2	Hitam	Plastik
3	Benda kerja 3	Putih	Logam

Klasifikasi benda kerja tersebut dideteksi menggunakan sensor pada FAT sebagaimana dibawah ini:

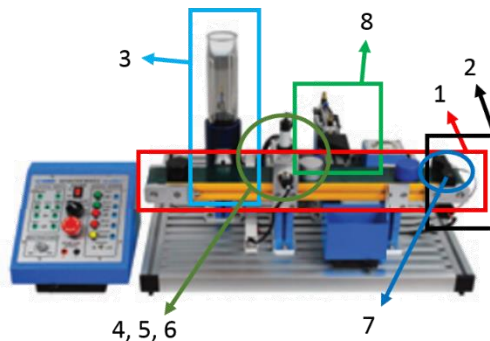
Tabel 2.2 Deteksi sensor pada benda kerja

Keterangan	Sensor		
	<i>Capasitive Proximity</i>	<i>Photoelectric</i>	<i>Inductive Proximity</i>
Benda kerja 1	ON	ON	OFF
Benda kerja 2	ON	OFF	OFF
Benda kerja 3	ON	ON	ON

2.1.1 *Separation and Conveyor transfer Module*

Pada modul ini terdapat 3 pengerjaan, yakni *insert* benda, memisahkan benda yang tidak sesuai keinginan (*saparation*) dan mengirim benda dengan *conveyor* (*conveyor transfer*). Benda yang di *transfer* perlu diklasifikasikan terlebih dahulu, apabila benda sesuai dengan spesifikasi maka benda diteruskan menuju *pick and place process*, jika tidak sesuai maka benda dipisahkan menggunakan *penumatic*. *Separation and conveyor transfer* terdiri atas beberapa komponen seperti pada Gambar 2.3. Komponen tersebut adalah:

1. Konveyor Belt
2. Motor Speed Control
3. Work Supply Magazine
4. Proximity sensor
5. Capacitive sensor
6. Photo sensor
7. Photo fiber sensor
8. Solenoid Valve 5/2 Way.

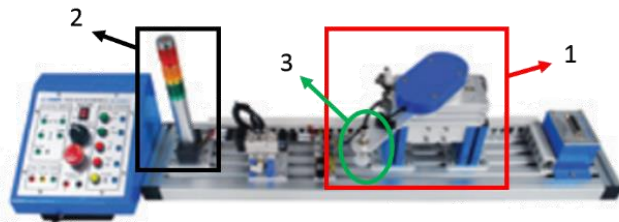


Gambar 2.3 *Separation and conveyor transfer module* [1]

2.1.2 *Pick and place Module*

Modul *pick and place process* digunakan untuk memindahkan benda dengan mengangkat benda dari line 1 ke line 2. Modul ini juga dilengkapi dengan indikator lampu 3 warna yang digunakan sesuai keinginan seperti lampu hijau proses on dan lampu merah terjadi permasalahan dengan kondisi sesuai yang diinginkan. *Pick and place process* bergerak memutar searah jarum jam / *clockwise* (CW) menuju

line 1 dan *counter clockwise* (CCW) berlawanan arah jarum jam menuju line 2 oleh *rotary cylinder*. Pergerakan *rotary cylinder* ketika telah mencapai line 1 atau 2 yakni melakukan aksi secara *vertical* dan *horizontal* dengan tujuan untuk mengarah ke benda dan mengangkat benda ke atas. Benda tersebut menempel pada pad oleh aksi *vacuum generator* yang terdapat pada ujung *rotary cylinder*. Benda kerja dapat dipindahkan menggunakan *pick and place* dengan syarat permukaan atas benda harus datar. Untuk mempermudah pemahaman dapat dilihat pada **Gambar 2.4** dibawah ini.



Gambar 2.4 *Pick and place module* [1]

Modul *pick and place* tersusun oleh beberapa komponen yang menunjang kinerja sistem seperti pada Gambar 2.4 yakni:

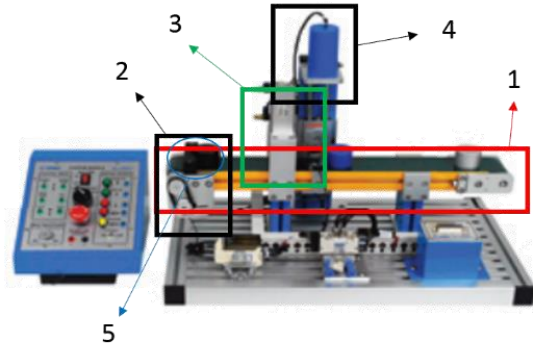
1. *Rotary cylinder* (untuk memindahkan benda dari line 1 ke line 2 dan aksi *vertical* *horizontal*)
2. Indikator lampu 3 warna
3. *Vacuum pad* (untuk membuat benda menempel pada *pad* dengan cara dihisap)

2.1.3 *Conveyor transfer and Stopper Module*

Modul *conveyor transfer & stopper* digunakan untuk mentransfer benda dari *pick and place* menuju *line movement*, benda tersebut di proses terlebih dahulu pada modul ini. Benda yang diproses diberhentikan selama waktu tertentu untuk di proses menggunakan *mesin drilling*. Setelah benda diproses benda diteruskan menuju *line movement* untuk dipindahkan. Berikut merupakan Gambar 2.5 yang menjelaskan peran komponen pada modul *conveyor transfer* dan *stopper*:

1. *Konveyor Belt*
2. *Motor speed control*

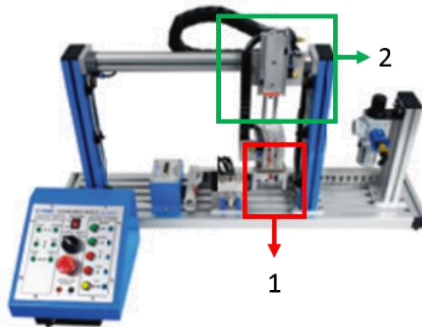
3. *Optical sensor dan stopper*
4. *Mesin drilling*
5. *Photo fiber sensor*
6. *Solenoid valve (aktuator up/down stopper dan mesin drilling)*



Gambar 2.5 *Conveyor transfer and stopper module [1]*

2.1.4 *Line movement Module*

Modul *line movement* digunakan untuk memindahkan benda dengan memuat benda dan melepaskan benda dari titik A ke titik B. benda tersebut diapit oleh *Finger grip* (nomor 1) kemudian bergerak secara *vertical* dan *horizontal*, *vertical* untuk mengambil benda dan melepaskan benda kemudian *horizontal* (nomor 2) untuk perpindahan benda secara *foward* dan *backward* seperti yang terdapat pada Gambar 2.6. Kecapatan pergerakan *line movement* dipengaruhi oleh *finger cylinder*.



Gambar 2.6 *Line movement module [1]*

2.1.5 Control Unit

Control unit merupakan tempat untuk integrasi secara mekanik antara modul satu dengan modul lainya sehingga proses pemindahan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan proses produksi benda kerja. *Control unit* juga merupakan wadah seperti pada Gambar 2.7 yang digunakan sebagai tempat strategis penempatan empat modul FAT, serta dilengkapi dengan tempat untuk meletakkan PLC dan unit pengaturan yang dilengkapi dengan alamat seperti pada pengalaman PLC LG Glofa tipe GM4.



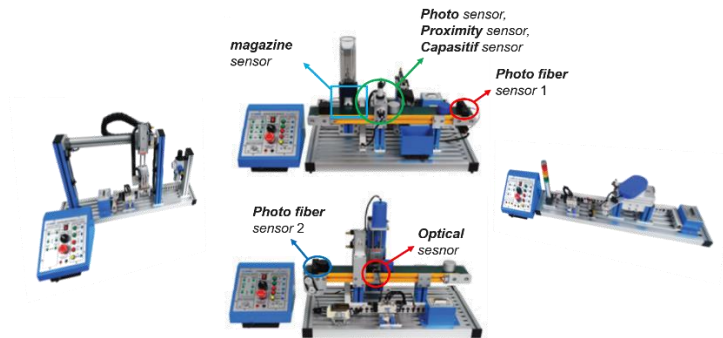
Gambar 2.7 *Control Unit Module* [1]

2.1.6 Sensor dan Aktuator

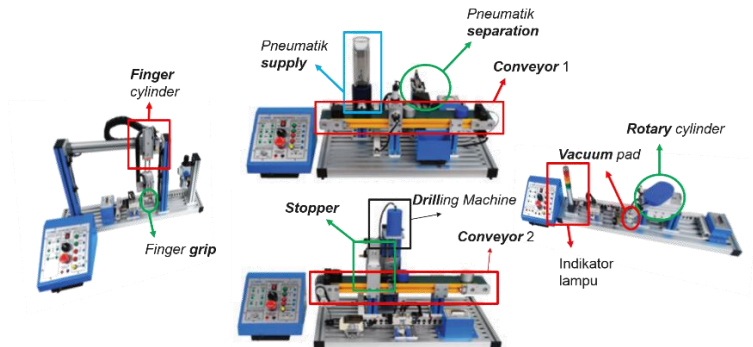
Sensor dan aktuator merupakan bagian dari sistem otomasi industri pada tingkatan *field instrument*. Kedua komponen tersebut merupakan komponen yang langsung berinteraksi dengan proses yang ada di lapangan (*plant*). Pengertian dari sensor adalah komponen yang berfungsi sebagai pengubah suatu energi menjadi energi listrik sehingga mudah untuk ditransmisikan.

Pada *plant factory automatic trainer*, sensor digunakan sebagai deteksi benda kerja berdasarkan jenis material, tingkat kecerahan dan posisi benda. Kemudian pengertian dari aktuator adalah sebuah komponen yang berfungsi sebagai pengubah energi listrik menjadi energi mekanik, energi kalor, energi cahaya, dll. Pada *plant factory automatic*

trainer, aktuator digunakan sebagai penggerak *plant*. Jenis sensor yang digunakan pada FAT adalah *proximity sensor*, *capacitive sensor*, *photo sensor*, *photo fiber sensor* dan *optical sensor* serta aktuator yang digunakan ialah konveyor belt, pneumatik *double acting*, *rotary cylinder*, *drilling machine* dan *finger cylinder* sebagaimana pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9. Berikut merupakan teori dasar dari sensor dan aktuator *factory automatic trainer*.



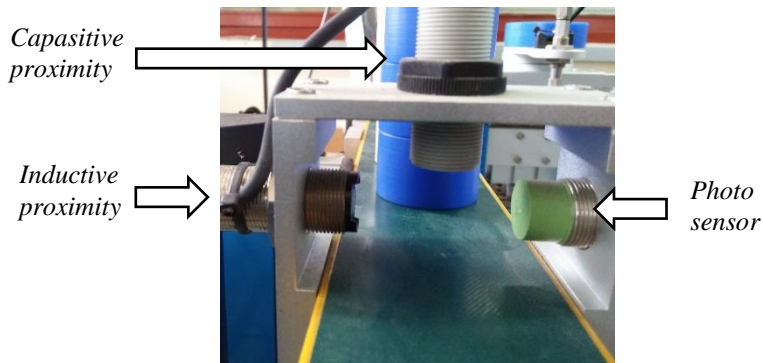
Gambar 2.8 Posisi sensor pada FAT



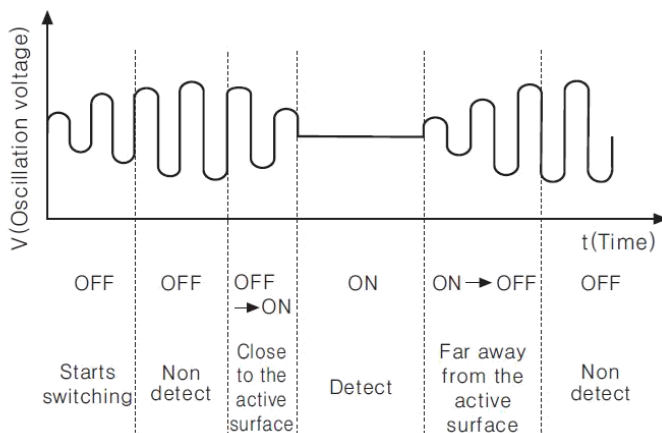
Gambar 2.9 Posisi aktuator pada FAT

2.1.6.1 Proximity sensor

Proximity sensor pada Gambar 2.10 berfungsi mendeteksi ada atau tidaknya suatu obyek. Karakteristik sensor ini adalah mendeksi obyek jenis material metal dan tidak mampu mendeteksi benda *transparan* seperti plastik. Jenis sensor *proximity* yang dipakai ialah *inductive proximity*. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan medan magnet berfrekuensi tinggi pada sensor, ketika terdapat benda yang mendekat maka osilasi frekuensi tersebut akan melemah sampai berhenti (sensor *on detect*) seperti yang tertera pada Gambar 2.11.



Gambar 2.10 *Proximity sensor, Capacitive sensor dan Photo sensor*



Gambar 2.11 Grafik kerja *inductive sensor* [4]

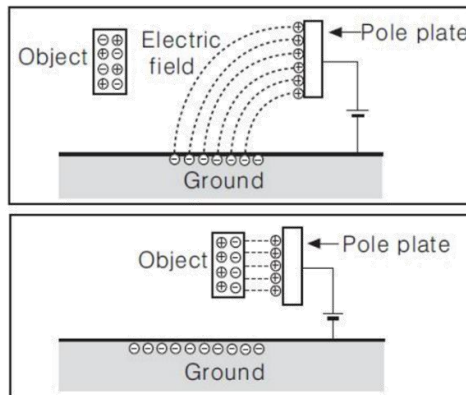
Deteksi sensor ke objek dipengaruhi oleh jarak obyek ke sesor *proximity*, kemudian dipengaruhi pula oleh ketebalan obyek dan permukaan sensor. untuk standar deteksi besi lunak ialah dengan ketebalan 1 mm. Untuk jenis material berdasarkan standart obyek deteksi ialah seperti pada Tabel 2.3 [1].

Tabel 2.3 Standar deteksi material

Material	Faktor koresi (mm)
Besi Lunak	1.0
Nikel, Baja	0.7 ~ 0.9
Kuningan	0.35 ~ 0.5
Alumunium	0.35 ~ 0.5
Tembaga	0.25 ~ 0.4

2.1.6.2 *Capasitif Sensor*

Capasitive sensor seperti pada Gambar 2.10 merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi obyek jenis material metal dan non-metal dengan jarak dekat. Sensor ini juga dapat mendeteksi bahan isolasi seperti plastik, kaca, keramik, kayu, cairan, air, minyak dan bahan kimia. Berbeda hal nya dengan *inductive sensor* yang hanya dapat mendeteksi obyek metal.

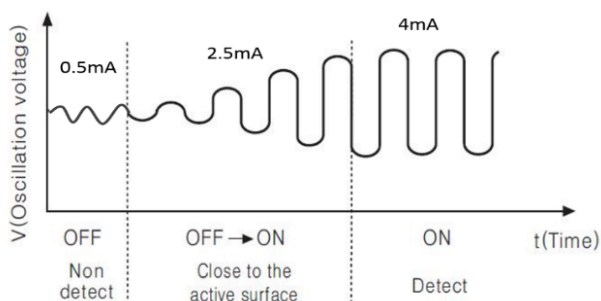


Gambar 2.12 Struktur *capasitive sensor* [4]

Capasitive sensor berkerja dengan prinsip polarisasi seperti pada Gambar 2.12. Sensor ini dilengkapi dengan *pole plate* yang dialiri arus kutub positif. apabila tidak ada obyek didekat *pole plate* maka kutub

negatif akan berada pada *ground* dan ketika obyek mendekati *pole plate* maka terbentuklah medan listrik antara *pole plate* dengan *ground* serta kutub-kutub pada obyek akan bergerak karena adanya induksi elektrostatik sehingga kutub negatif pada obyek akan mendekat ke *pole plate*. Ketika obyek mendekat ke *pole plate* maka kekuatan polarisasi akan meningkat dan akan melemah jika obyek menjauh dari *pole plate*.

Prinsip kerja *capacitive sensor* ialah seperti pada Gambar 2.13. ketika sensor dihidupkan maka ada osilasi arus kurang dari 1 mA, jika terdapat benda yang akan terdeteksi maka arus yang berosilasi akan naik sebesar 2,5 mA dan ketika osilasi meningkat sampai mencapai 4 mA maka benda terdeteksi [1].



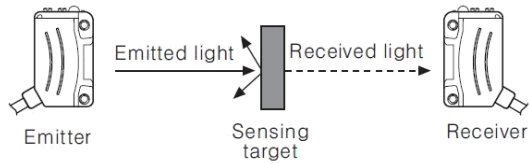
Gambar 2.13 Grafik kerja *capacitive proximity* [4]

2.1.6.3 Photoelectric Sensor

Sensor ini merupakan sensor jenis *non-contact* yang digunakan untuk mendeteksi ukuran, warna dan tingkat kecerahan pada benda. Media utama yang digunakan untuk deteksi ialah dengan memanfaatkan cahaya. *Photoelectric sensor* terbagi atas 3 tipe yakni *transmission type*, *mirror reflection type* dan *diffuse reflective type*. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing tipe [1].

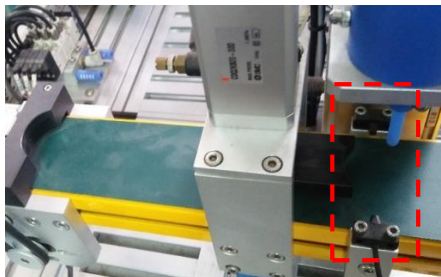
a. Transmission Type

Sensor ini diletakkan secara berhadapan antara *emitter*(pengirim) dan *receiver*(penerima) seperti pada Gambar 2.14. Deteksi sensor ditentukan oleh intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver*. Ketika obyek terletak di antara *emitter* dan *receiver* maka cahaya yang dikirim oleh *emitter* akan terhalang oleh obyek, oleh karena itu *receiver* mengalami perubahan intensitas cahaya yang diterima sehingga kejadian tersebut dapat diartikan sebagai deteksi benda.



Gambar 2.14 Cara kerja *transmission type sensor* [4]

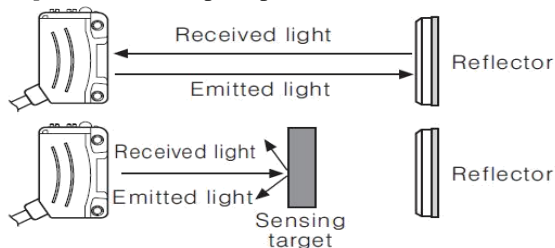
Salah satu tipe sensor ini adalah *optical sensor* yang digunakan pada *plant factory automatic trainer*. Letak *optical sensor* pada *plant* seperti pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15 *Optical sensor* FAT

b. *Mirror Reflection Type*

Sensor ini sama dengan tipe sebelumnya yakni memiliki *emitter* dan *receiver*, namun pada sensor ini *emitter* dan *receiver* terletak pada satu *device photoelectric* seperti pada Gambar 2.16 berikut.



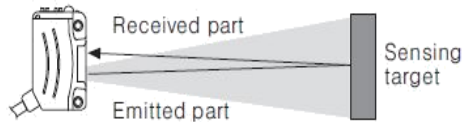
Gambar 2.16 Cara kerja *mirror reflective type sensor* [4]

Cara kerja tipe sensor ini adalah cahaya yang dikirim oleh *emitter* diarahkan menuju *reflector* yang memiliki tingkat radiasi cahaya untuk dipantulkan sehingga cahaya tersebut dapat diterima oleh

receiver. Apabila terdapat obyek yang berada di antara sensor dan reflector maka banyaknya cahaya yang diterima oleh *receiver* terhalang oleh obyek tersebut sehingga kondisi ini diartikan bahwa sensor sedang mendeteksi obyek.

c. *Diffuse Refelective Type*

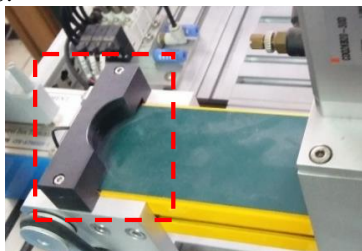
Tipe sensor ini ialah yang digunakan pada *plant factory automatic trainer* seperti pada Gambar 2.10 yang dipakai untuk mendeteksi benda. *Emitter* dan *receiver* terletak pada satu *device photoelectric*. Cara kerja sensor ini seperti pada Gambar 2.17 yakni *emitter* mengirimkan cahaya, *receiver* akan menerima cahaya dari pantulan obyek. Oleh karena itu obyek yang dideteksi dipengaruhi ukuran, warna dan tingkat kecerahan dari obyek.



Gambar 2.17 Cara kerja *diffuse reflective type sensor* [4]

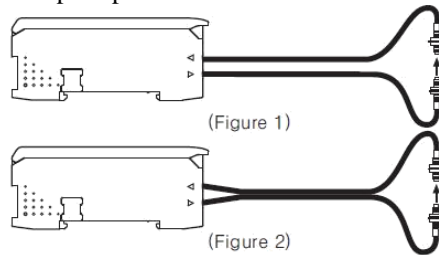
2.1.6.4 *Photo fiber sensor*

Sensor ini sama dengan *photoelectric sensor* yakni dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver*. Terdapat dua tipe pada sensor ini, tipe pertama adalah *emitter* dan *receiver* berbeda *device* dengan cara kerja intensitas cahaya dikirimkan oleh *emitter* dan diterima oleh *receiver*, apabila terdapat benda di antara *emitter* dan *receiver* maka *receiver* menerima intensitas cahaya yang berbeda dari sebelumnya sehingga diartikan sensor mendeteksi benda. Untuk tipe yang kedua adalah *emitter* dan *receiver* terletak pada satu *device* seperti pada Gambar 2.19 dan Gambar 2.20.

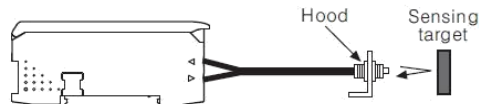


Gambar 2.18 *Photo fiber sensor* FAT

Tipe sensor yang dipakai pada *plant factory automatic trainer* pada Gambar 2.18 adalah *diffuse reflective type*, cara kerja dari sensor ini adalah dengan memanfaatkan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh obyek ke receiver seperti pada Gambar 2.20.



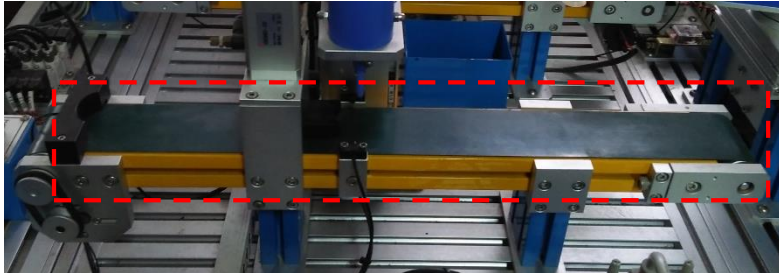
Gambar 2.19 *Transmission type Sensor* [4]



Gambar 2.20 *Diffuse reflective type* [4]

2.1.6.5 Konveyor Belt

Konveyor merupakan komponen yang berfungsi mengangkut benda-benda padat maupun benda cair sesuai dengan jenis konveyor. Pada *plant factory automatic trainer* digunakan konveyor jenis *belt* seperti pada Gambar 2.21. konveyor belt terdiri atas beberapa komponen penyusun seperti motor yang dihubungkan ke *pulley* sebagai penggerak konveyor, sabuk yang terbuat dari karet, kulit, plastik atau logam, kemudian *roller* sebagai penopang *belt* sekaligus memiliki fungsi meminimalkan gesekan antara *belt* dengan kerangka konveyor.



Gambar 2.21 Konveyor belt FAT

2.1.6.6 *Pneumatik Double Acting 5/2 Way*

Sistem pneumatik merupakan teknologi yang memanfaatkan udara bertekanan untuk menghasilkan gerak mekanis. Udara bertekanan ini dihasilkan melalui kompresor, yakni sebuah alat yang mampu menghasilkan udara bertekanan. Pada dasarnya sistem kerja pada pneumatik sangatlah sederhana dikarenakan pada umumnya digunakan untuk kontrol *on* dan *off*. Sistem pneumatik ini telah banyak digunakan di dunia industri, salah satu penggunaan sistem pneumatik adalah untuk *separation*, pengisian botol, penutup botol, dll.

Pneumatik pada *plant factory automatic trainer* digunakan untuk *separation* benda kerja seperti pada Gambar 2.22 dan Gambar 2.23 untuk *supply* benda kerja. Pneumatik ini bekerja secara *double acting* dengan maksimal tekanan 0.7 Mpa setara dengan 101.52 Psi [1].



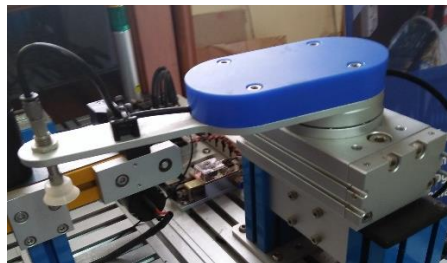
Gambar 2.22 Pneumatik separaion FAT



Gambar 2.23 Pneumatik untuk *magazine supply* FAT

2.1.6.7 Rotary cylinder

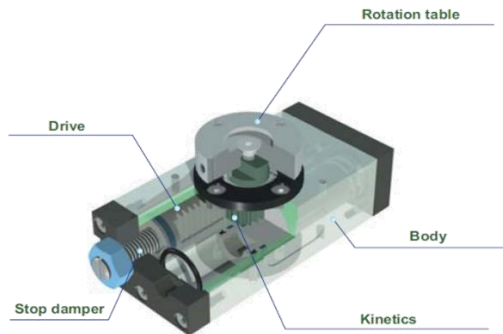
Rotary cylinder merupakan pneumatik aktuator yang berfungsi mengubah tekanan udara menjadi gerak mekanik putar. Komponen ini dapat digunakan untuk memindahkan benda seperti pada Gambar 2.24 *plant factory automatic trainer* (FAT) atau dengan sebutan *pick and place module*. Komponen ini bekerja dengan udara bertekanan, terdapat 5 jenis *rotary cylinder* berdasarkan cara kerja dan konstruksinya ialah *vane type*, *rack & pinion type*, *screw type*, *crank type* dan *wheel gear & chain type*. Salah satu jenis *rotary cylinder* tersebut digunakan pada *pick & place module* FAT yakni *rank & pinion type* [5].



Gambar 2.24 *Pick and place* FAT

Cara kerja dari *rank & pinion type* adalah dengan cara udara bertekanan menggerakkan *cylinder* (*double acting pneumatik cylinder*), ketika *cylinder* yang telah dilengkapi dengan gigi bergerak horizontal

menyentuh gir maka akan ada gaya putar komponen yang disebabkan oleh sudut tekanan gigi *cylinder* seperti pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Cara kerja *rank & pinion type of rotary cylinde* [5]

Berdasarkan pada Gambar 2.25 dapat dijelaskan bahwa:

- a. *Drive*
Komponen ini merupakan pneumatik yang bergerak secara vertical dengan memanfaatkan udara bertekanan sebagai penggerak. *Drive* dilengkapi dengan gigi yang menyentuh gir.
- b. *Stop Damper*
Komponen ini berfungsi sebagai peredam atau menahan beban tekanan yang disebabkan oleh pergerakan *drive* dengan gir.
- c. *Rotation Table*
Komponen ini bergerak memutar (*kinetics*) yang disebabkan oleh putaran gir. *Table* dihubungkan dengan lengan sehingga dapat digunakan untuk aktivitas pergerakan rotasi.
- d. *Body*
Ini merupakan salah satu bagian terpenting dalam setiap komponen elektronik, *body* sebagai wadah integrasi komponen sehingga bagian keseluruhan dapat berjalan dengan baik.
- e. *Kinetics*
Gaya putar komponen yang disebabkan oleh sudut tekanan gigi *cylinder* dengan gir.

2.1.6.8 *Drilling Machine*

Proses *drilling* (gurdi) ialah proses pembuatan lubang dengan bantuan mata bor (*twist drill*). Mesin yang digunakan untuk proses pembuatan lubang adalah *drilling machine* seperti pada Gambar 2.26. mesin ini bekerja dengan pahat yang berputar pada porosnya, kemudian mata bor yang terletak pada *spindle* di arahkan menuju benda kerja untuk melakukan aksi sesuai yang diharapkan.



Gambar 2.26 *Drilling machine* [6]

Terdapat beberapa jenis yang serupa dengan *drilling machine* dengan fungsi sama yakni untuk proses pembuatan lubang dengan mata bor, namun dengan adanya modifikasi sesuai dengan kebutuhan maka berikut merupakan proses *drilling* beserta fungsinya [6].

a. *Reaming*

Reaming merupakan proses yang digunakan untuk memperluas lebar lubang dengan memberikan toleransi yang lebih baik dari diameter sebelumnya.

b. *Tapping*

Tapping merupakan proses pembuatan internal ulir pada permukaan lubang atau lubang baru yang dibuat, ulir tersebut digunakan untuk kebutuhan baut dan sejenisnya.

c. *Boring*

Boring merupakan proses yang hampir sama dengan *reaming*, yakni untuk memperbesar lubang benda kerja dengan menggunakan batang bor (*boring bar*).

d. *Counter-boring and sinking*

Kedua proses ini hampir sama, yakni proses pembuatan lubang dengan penambahan lubang besar setelahnya untuk menyimpan kepala baut ini disebut proses *counter-boring*, sedangkan untuk *sinking* untuk menyimpan kepala sekrup yang berbentuk kerucut.

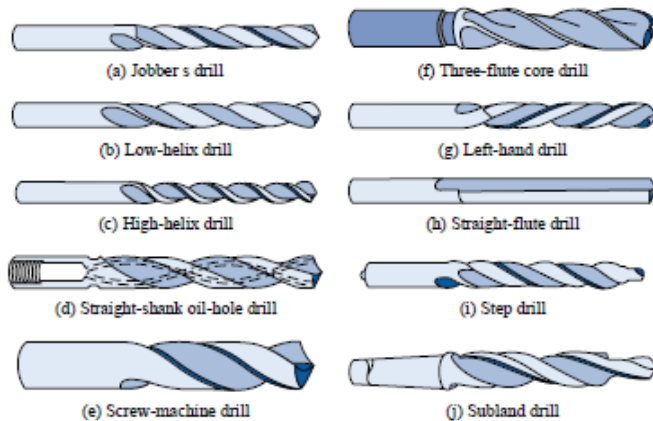
e. *Broaching*

Ini merupakan proses *drilling* yang menggunakan alat bergigi yang disebut dengan broas, alat ini digunakan untuk memperbesar lubang dengan menggunakan mata pahat yang kecil di ujung.

Proses pembuatan lubang dengan *Machine drilling* juga dipengaruhi oleh mata bor yang digunakan, untuk mengetahui kualitas mata bor dan pemakaian yang sesuai maka perlu diketahui bahan mata bor dan bentuk gigi mata bor sebagaimana dijelaskan pada Tabel 2.4, dan bagian utama pada mata bor adalah sudut helik. Pada Gambar 2.27 dijelaskan mengenai sudut helik mata bor sesuai fungsinya.

Tabel 2.4 Geometri mata bor (*twist drill*) [6]

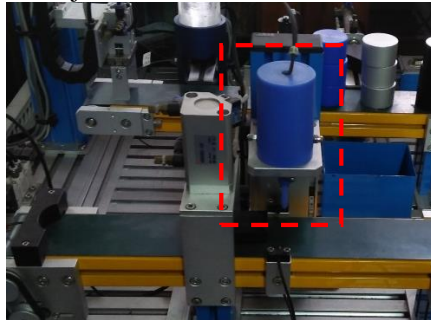
Benda kerja	Sudut ujung $2\alpha_r$	Sudut helik	Sudut bebas α
Baja karbon kekuatan tarik < 900 N/mm^2	118°	20° – 30°	19° – 25°
Baja karbon kekuatan tarik > 900 N/mm^2	125° – 145°	20° – 30°	7° – 15°
Baja keras (manganese) kondisi austetik	135° – 150°	10° – 25°	7° – 15°
Besi tuang	90° – 135°	18° – 25°	7° – 12°
Kuningan	118°	12°	10° – 15°
Tembaga	100° – 118°	20° – 30°	10° – 15°
Alluminium	90° – 118°	17° – 45°	12° – 18°



Gambar 2.27 Mata bor khusus untuk pengerjaan tertentu [6]

- a. Mata bor helix besar (*High helix drills*)
Efisiensi pemotongan menggunakan mata bor ini cukup tinggi dikarenakan sudut helix yang besar, tetapi batangnya lemah. Oleh karena itu, mata bor ini digunakan untuk memotong besi lunak dan bahan yang memiliki kekuatan rendah.
- b. Mata bor helix kecil (*Low helix drills*)
Mata bor dengan sudut helix lebih kecil dari ukuran normal yang berguna untuk mencegah pahat bor terangkat ke atas ketika membuat lubang pada material kuningan dan sejenisnya.
- c. Mata bor tangan kiri (*Left hand drills*)
Mata bor ini digunakan untuk pembuatan lubang jamak, bagian kepala mesin bor di desain dengan sederhana yang memungkinkan berputar berlawanan arah.
- d. Mata bor sisi sayat lurus (*Straight flute drills*)
Mata bor ini di desain ekstrim dengan bor helix kecil, digunakan untuk membuat lubang pada kuningan dan plat.
- e. Mata bor bertingkat (*Step drills*)
Mata bor ini digunakan untuk membuat lubang bertingkat dengan desain satu batang mata bor dipasang dua buah diameter mata bor.
- f. Mata bor ganda (*Subland drills*)
Mata bor ini sama dengan mata bor bertingkat dengan dua buah mata bor yang desain ada satu batang.

Pada *plant factory automatic trainer* (FAT) terdapat model *drilling machine* seperti pada Gambar 2.28 sebagai ilustrasi proses pembuatan lubang pada benda kerja.



Gambar 2.28 *Drilling Machine* FAT

2.1.6.9 *Finger cylinder*

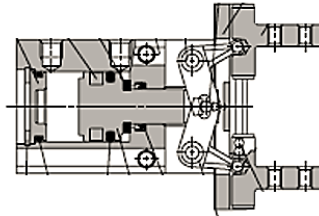
Komponen *finger cylinder* terdapat pada *line movement module* *plant factory automatic trainer* (FAT) seperti pada Gambar 2.29 digunakan untuk memindahkan benda dengan cara menjepit benda menggunakan *Finger grip*. Pneumatik jenis finger ini mampu bergerak dengan dua aksi, yakni dengan gerakan *rotary* dan gerakan horzontal.



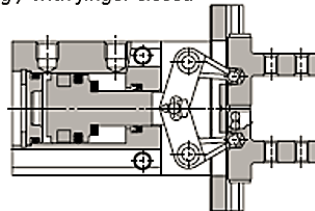
Gambar 2.29 *Finger cylinder* pada *line movement module* FAT

Pada Gambar 2.29 dilengkapi dengan *Finger grip* pada ujung ditandai dengan warna hijau. Cara kerja *Finger grip* adalah dengan mengubah udara bertekanan menjadi gerakan mekanik seperti pada Gambar 2.30 berikut.

Double acting / with finger open



Double acting / with finger closed



Gambar 2.30 Cara kerja *Finger grip* [7]

2.2 Programmable Logic Controller

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan kontroler yang digunakan sebagai pengaturan secara terpusat oleh komponen-komponen yang terintegrasi pada suatu sistem. Selain itu, PLC juga digunakan sebagai kontroler pada proses otomatisasi seperti pengawasan dan pengontrolan mesin di industri melalui komponen-komponen elektronik. Komponen tersebut dapat berupa *Relay*, sensor, aktuator, kontraktor dan komponen lainnya yang manjadi *Input* dan *Output* pada program PLC.

2.2.1 Bahasa Pemrograman PLC

Berdasarkan standar internasional IEC 61131-3, terdapat 5 bahasa pemrograman PLC. Yakni, *ladder diagram* (LD), *function block diagram* (FBD), *structure text* (ST), *instruction list* (IL) dan *sequential function chart* (SFC) [2].

2.2.2 Bagian-Bagian PLC

PLC disusun oleh beberapa komponen *hardware*, pada umumnya bagian penyusun PLC adalah *Central Processing Unit* (CPU), *Power Supply*, *Sistem Input / Output* dan memori.

2.2.2.1 Power Supply

Power Supply digunakan sebagai sumber daya bagi PLC yang memiliki 2 fungsi utama. Yakni konverter (AC – DC) dan menurunkan sumber tegangan, standar sumber tegangan pada PLC adalah 24 Volt DC.

2.2.2.2 Central Processing Unit (CPU)

Central Processing Unit (CPU) adalah bagian terpenting pada PLC yang merupakan otak bagi sistem. Pada CPU terdapat mikroprosesor yang berfungsi untuk menjalankan semua pekerjaan matematika, penanganan data, dan diagnosis.

2.2.2.3 Sistem Input / Output (I/O)

Secara umum PLC terdapat 2 sistem I/O. Yakni Digital I/O dan Analog I/O. Digital I/O bekerja dengan sistem *on* atau *off*, hanya bisa menjalankan sistem yang bersifat aktif dan non-aktif. Analog I/O bekerja secara kontinu dengan besaran yang bervariasi atau tidak memiliki nilai diskrit yang tetap. Pada umumnya sejumlah sistem menggunakan sinyal 4 mA hingga 20 mA, 0–5 Volt DC, dan 0–10 Volt AC untuk pengontrolan yang akurat.

2.2.2.4 Memori

Sistem memori pada PLC dibagi menjadi 2 bagian. Yakni *executive Memory* dan *application Memory*.

a. Executive Memory

Memori ini disimpan secara permanen oleh sistem yang merupakan instruksional *software*, yaitu *Relay* instruction, block transfer dan math instruction. Memori tersebut digunakan untuk menjalankan sistem dan tidak disediakan untuk pemakai.

b. Application Memory

Memori ini disediakan untuk pengguna program, yaitu are penyimpanan *ladder diagram*, *Timer*, counter, dll.

2.2.3 PLC LG Glofa Tipe GM4

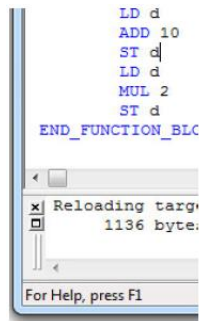
PLC LG Glofa memiliki banyak tipe, yakni GM4, GM6 dan GM 7. Pada penelitian kali ini digunakan PLC LG Glofa dengan tipe GM4 seperti pada Gambar 2.34 yang dapat diprogram dengan 3 bahasa pemrograman *instruction list* (IL), *ladder diagram* (LD) dan *function block diagram* (FBD) [8]. Pengertian dari bahasa tersebut adalah:

a. *Instruction List* (IL)

Ini merupakan bahasa tekstual tingkat rendah yang terdiri dari rangkaian intruksi. Konstruksi program pada bahasa *intruction list* terdiri oleh daftar intruksi seperti pada Gambar 2.31 yang digunakan untuk menjalankan program, daftar intruksi digunakan sebagai bahasa transisi yang mengartikan bahasa tekstual dan bahasa grafis.

LD	Menampilkan hasil perhitungan
ST	Menyimpan hasil perhitungan ke lokasi penyimpanan
ADD	Penambahan
MUL	Perkalian

Bahasa pemrograman IL juga disebut sebagai bahasa orientasi baris. Dalam bahasa ini, setiap baris hanya terdiri dari satu intruksi dan intruksi berikutnya ditentukan baris selanjutnya. Pemrograman IL kurang cocok untuk proyek yang rumit karena sulit untuk memahami alur program dan sulit untuk membaca dan memecahkan masalah.

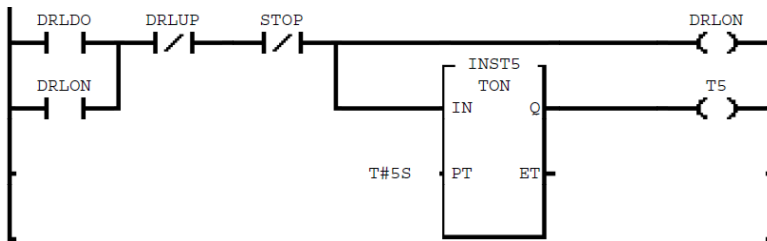


Gambar 2.31 *Intruction list* (IL) [2]

b. *Ladder diagram* (LD)

Bahasa pemrograman *ladder diagram* merupakan bahasa grafis tingkat rendah yang digunakan untuk menggantikan rangkaian pengkabelan listrik yang bersifat *Relay logic*. Penggunaan bahasa ini lebih mudah untuk pemeliharaan dikarenakan bahasa mudah untuk dibaca, ditulis dan penyelesaian masalah.

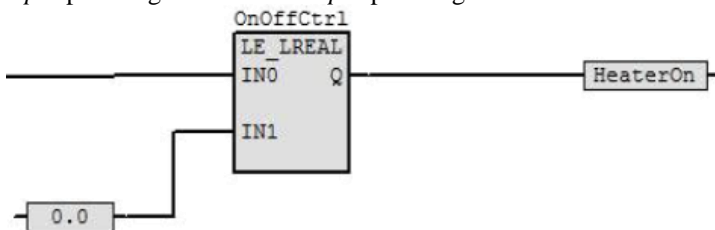
Bahasa ini dinamakan *ladder diagram* karena strukturnya mirip dengan tangga (*ladder*) seperti pada Gambar 2.32. Konstruksi program terdiri oleh dua garis vertikal disebut rel yang terhubung oleh anak tangga horizontal yang dinamakan sirkuit. Rel sebelah kiri ialah *supply* dan rel sebelah kanan ialah *ground*. Setiap anak tangga terdiri dari satu atau lebih kondisi *Input* dan mengeksekusi satu *Output*. Satu anak tangga menunjukkan operasi kontrol yang dieksekusi dari kiri ke kanan.



Gambar 2.32 Ladder diagram (LD)

c. *Fuction Block Diagram (FBD)*

FBD merupakan bahasa pemrograman PLC yang berbasis *graphical dataflow* seperti pada Gambar 2.33. Pemrograman ini banyak digunakan pada *distributed control system* (DCS), LabVIEW dan Matlab Simulink. Konstruksi program ini terdiri atas blok fungsi sebagai proses operasi yang memiliki fungsi tersendiri, setiap blok dengan blok yang lain dihubungkan oleh line horizontal dan vertikal sebagai aliran sinyal. Setiap blok terdiri atas satu atau lebih dari satu *Input* pada bagian kiri dan *Output* pada bagian kanan.



Gambar 2.33 Fuction block diagram (FBD) [2]



Gambar 2.34 PLC LG tipe GM4 pada FAT

2.2.3.1 Spesifikasi PLC LG Tipe GM4

Komponen PLC LG tipe GM4 terdiri atas *power module* dengan *Input* AC 110V, AC 220V dan DC 24V, CPU, *Memory module* dengan kapasitas 128K, dan *input-Output module* terdiri atas 20 *Input* dan 20 *Output* untuk satu slot. Kemudian untuk *range Timer* 0.001 ~ 4294967 *sec* (1198 *hours*), *count range* -32.768 ~ 32.767 dan untuk *operation mode* terdapat mode *RUN*, *STOP*, *PAUSE* dan *DEBUG* [8]. Untuk spesifikasi PLC LG tipe GM4 kami sertakan pada lampiran.

2.2.3.2 Konfigurasi PLC LG

Setiap PLC memiliki konfigurasi yang berbeda. Untuk PLC LG digunakan *software* GMWIN. Masuk ke *software* GMWIN dan membuat *new project* (proyek baru yang akan dibuat), masukan nama proyek sesuai keinginan kemudian pilih tipe PLC LG yang dipakai pada hardware PLC, misal GM4. Klik *next* untuk memilih bahasa pemrograman yang digunakan, pilih LD (*ladder diagram*), kemudian klik *finish*.

2.2.3.3 Pengalaman PLC LG

Berikut penulisan pengalaman yang digunakan pada PLC LG:
% A B C. D. E → misal *input* : %IX0.0.2

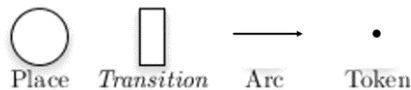
Tabel 2.5 Pengalaman PLC LG

A	I / Q / M	I	<i>Input</i>
		Q	<i>Output</i>
		M	Memori “tanpa D” % <u>M</u> <u>B</u> <u>C</u> . <u>E</u>

B	X / B / W / D / L	X	Bits
		B	Byte
		W	Word
		D	Double Word
		L	Long Word
C	Base	0, 1, ...	Base PLC
D	Slot	0, 1, ...	Slot I/O
E	Bit slot	0, .., 20	Bit dalam satu slot

2.3 Petri net

Metode *Petri net* merupakan sebuah teknik pemodelan yang bersifat kontrol diskrit, metode ini digunakan juga untuk proses otomasi dengan dikonversi ke *ladder diagram* [9]. *Petri net* juga dapat diartikan sebagai sebuah metode berbasis grafik antara dua *node* yang saling berhubungan, dua tipe *node* tersebut adalah *place* dan *transition*. Berikut Gambar 2.35 ini merupakan penjelasan dari bagian-bagian *Petri net*.



Gambar 2.35 Komponen *Petri net*


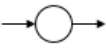










- Place* direpresentasikan dalam bentuk bulat
 - Sebagai *Input* dan *Output transition*
 - Representasi dari switch, coil, *Timer* dan counter pada pemrograman PLC
 - Dapat merepresentasikan kondisi baru melalui token
- Transition* direpresentasikan dalam bentuk bar
 - Sebagai operasi AND dan OR
 - Dapat mengubah kondisi sistem apabila syarat *transition* telah terpenuhi
- Arc* (anak panah) digunakan untuk menghubungkan kedua *node* dan menunjuk alur kerja dari sistem yang dimodelkan.

- d) *Token* merepresentasikan *place* bersifat aktif. *Token* dilambangkan dengan sebuah titik hitam yang terletak di dalam *place* [3]. *Token* dapat merepresentasikan obyek sebagai berikut:
- Ketersediaan sumber daya
 - Pekerjaan yang harus dilakukan dan kondisi sinkronisasi

2.3.1 Elemen Dasar *Ladder diagram* dan *Petri net*

Berikut merupakan elemen dasar *ladder diagram* dan *Petri net* serta hubungan diantara keduanya:

Tabel 2.6 Elemen dasar *ladder diagram* dan *Petri net* [10]

Elemen dasar	<i>Ladder diagram</i>		<i>Petri net</i>	
Nodes	<i>Push Button</i>		<i>Place</i>	
	<i>Normally Open contact/switch</i>			
	<i>Normally closed contact/switch</i>			
	<i>Relay coil</i>		<i>Transition</i>	
	<i>Timer</i>			
	<i>Counter</i>			
	<i>Solenoid</i>			
<i>Links</i>	<i>Line</i>		<i>Noramal arc</i>	
			<i>Inhibitory arc</i>	

2.3.2 Konstruksi *Petri net* dan *Ladder diagram*

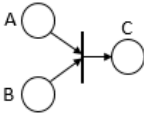
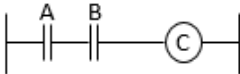
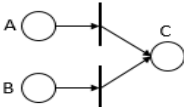
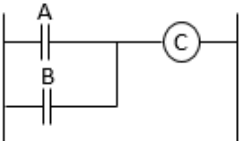
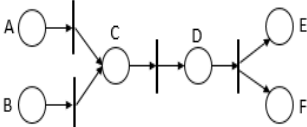
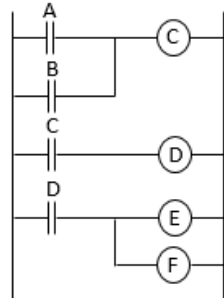
Perancangan *Petri net* dibuat berdasarkan logika sekuen yang menggambarkan sistem bekerja dari awal sampai akhir dengan urutan yang terstruktur, hal ini memiliki keterkaitan dengan proses otomasi yang berjalan secara sekuen.

Untuk membuat sebuah program dibutuhkan konstruksi *ladder diagram* untuk menjalankan program sistem otomasi. Oleh karena *Petri net* dan *ladder diagram* memiliki keterkaitan satu dengan yang lain

terutama pada logika sekuen, sehingga konstruksi *ladder diagram* dibuat dari perancangan *Petri net*. *Petri net* yang telah dirancang dikonversi ke *ladder diagram* sehingga urutan program *ladder diagram* menjadi terstruktur seperti pada *Petri net*.

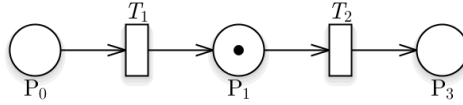
Berikut merupakan konstruksi logika dasar yang diterapkan pada *Petri net* dan *ladder diagram*:

Tabel 2.7 Konstruksi *Petri net* dan lader diagram [10]

Konstruksi	<i>Petri net</i>	<i>Ladder diagram</i>
Logika AND		
Logika OR		
Model Sekuen		

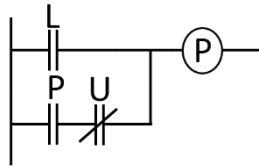
2.3.3 Aturan Konversi *Petri net* ke Diagram *Ladder*

Pemodelan *petri net* dibuat untuk merancang konstruksi diagram *ladder*. Setiap *step* pada *petri net* berada pada satu *rung* diagram *ladder*, simbol *transition* merupakan variabel *input* dan *output*, simbol *place* didefinisikan sebagai komponen kontaktor *input* dan *output*.



Gambar 2.36 Model petri net sederhana [3]

Berdasarkan Gambar 2.36 place P_0 adalah input dari T_1 dan P_1 adalah output dari T_1 sehingga T_1 adalah proses untuk satu step. Transition selanjutnya adalah step berikutnya. Berikut merupakan rangkaian diagram ladder untuk konversi secara self-holding seperti pada Gambar 2.37.



Gambar 2.37 Rangkaian self-holding

Simbol L ialah input, P sebagai output (koil) dan U adalah input normally close. Rangkaian diagram ladder tersebut merupakan gambaran dari Gambar 2.36, P_1 diberikan token (aktif), dengan artian bahwa sebelumnya P_0 telah aktif. Keterkaitan antara pemodelan petri net dengan rangkaian self-holding adalah sebagai berikut.

$$L = P_0 . T_1 \quad (1)$$

Dengan cara yang sama, kondisi P_1 akan non aktif ketika T_2 dinyalakan sehingga kondisi bar dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$U = P_1 . T_2 \quad (2)$$

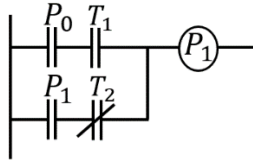
Setiap rung self-holding terdapat bagian normally close untuk menonaktifkan rung. Logika kombinasi dari persamaan diatas dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$P . \bar{U} \quad (3)$$

Berikut merupakan substitusi persamaan (2) ke persamaan (3), sehingga logika kombinasi pada rung menjadi.

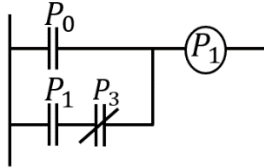
$$P \cdot \bar{U} = P_1 \cdot \overline{(P_1 \cdot T_2)} = P_1 \cdot (\bar{P}_1 + \bar{T}_2) = P_1 \cdot \bar{T}_2 \quad (4)$$

Sehingga hasil dari persamaan (4) seperti pada Gambar 2.38.



Gambar 2.38 Diagram *ladder* hasil konversi

Diagram *ladder* yang dihasilkan terdapat input T_1 dan T_2 yang merupakan *transition* pada model *petri net*. *Transition* merupakan variabel yang diterjemahkan sebagai proses atau kejadian sehingga untuk dijadikan sebagai *input* maka diperlukan sebuah kontaktor (Place). Kontaktor untuk T_1 adalah P_0 (*input place*) dan kontaktor untuk T_2 adalah P_3 (*output place*). sehingga konstruksi diagram *ladder* yang diperoleh adalah seperti pada Gambar 2.39.

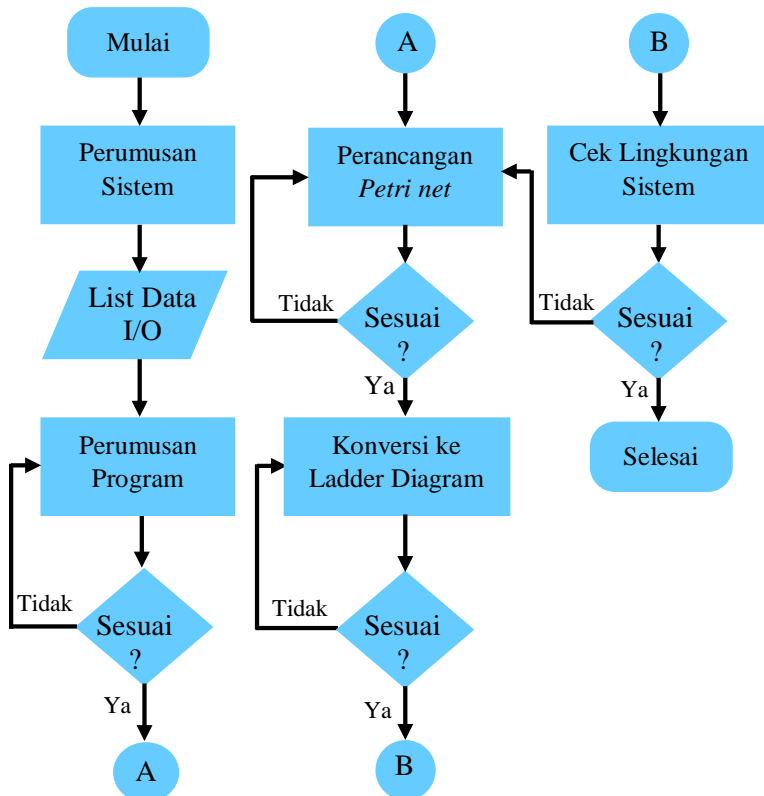


Gambar 2.39 Diagram *ladder* hasil modifikasi

BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

Proses pembuatan konstruksi *ladder diagram* untuk *design* program PLC yang digunakan menjalankan sistem *Factory Automatic Trainer* (FAT) dibuat dari pemodelan *Petri net*. Berikut merupakan tahapan proses pembuatan pemodelan *Petri net* hingga konversi *ladder diagram* ditampilkan pada Gambar 3.1.



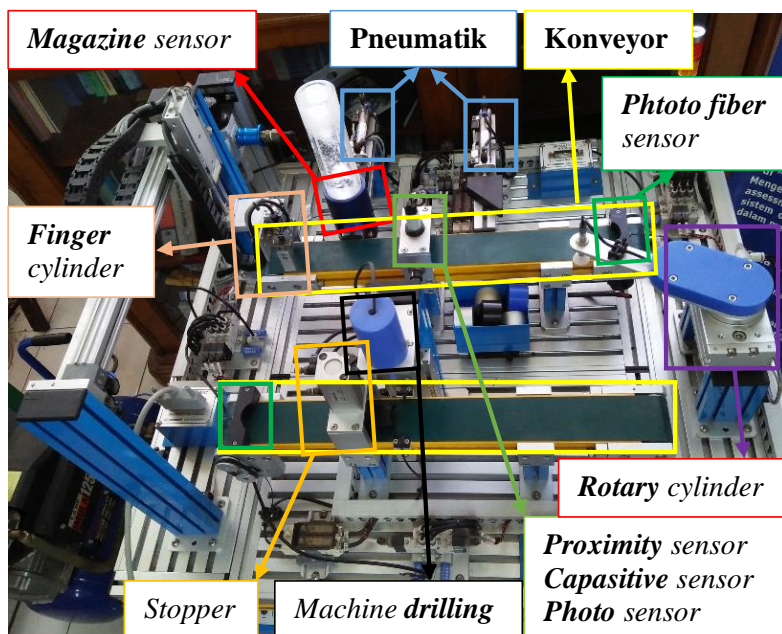
Gambar 3.1 Flowchart perancangan program konstruksi LD

3.1 Perumusan Sistem

Pada dasarnya *factory automatic trainer* (FAT) adalah *plant* yang digunakan untuk memproduksi sebuah benda menggunakan *drilling machine*, seleksi benda kerja (*separation*) dan mengirimkan benda kerja (*transfer*). Proses produksi pada penelitian ini adalah produksi ring untuk spare part mobil.

Terdapat 3 benda kerja pada FAT seperti pada penjelasan bab 2. Pro duksi ring dibuat dari 2 benda kerja, yakni benda kerja berwarna putih dan hitam. Untuk benda kerja berwarna biru tidak diproduksi.

Proses dari konstruksi program dijalankan pada FAT melalui deteksi sensor dan aksi akuator seperti pada Gambar 3.2. Sensor dan aktuator dikontrol menggunakan *programmable logic controller* (PLC) LG Glofa tipe GM4 untuk dijalankan secara otomatis, perancangan sistem tersebut disebut dengan sistem otomasi.

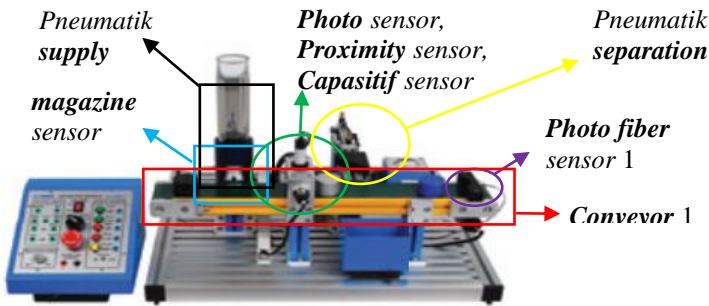


Gambar 3.2 Konstruksi FAT

3.1.1 Langkah Kerja Sistem

Untuk memudahkan pemahaman mengenai tahapan proses pada sistem otomasi *factory automatic trainer* (FAT), langkah kerja sistem tersebut dijelaskan menjadi 4 sub modul.

3.1.1.1 Langkah kerja modul 1



Gambar 3.3 Konstruksi conveyor transfer dan separation

Berdasarkan dari Gambar 3.3 diperoleh data *input* dan *output* pada modul *conveyor transfer and separation* seperti pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.3. Fungsi utama modul *conveyor transfer and separation* ada 3, yakni *insert* benda kerja, pengiriman benda kerja dan seleksi benda kerja.

Pada bagian *pneumatik supply* dan *separation* dilengkapi dengan *Auto switch sensor* untuk mendeteksi posisi kerja pneumatik.

Tabel 3.1 Data *input* modul 1

No	Nama	Fungsi
1	<i>Magazine Sensor</i>	Mendeteksi ketersediaan benda kerja pada <i>magazine</i>
2	<i>Photo sensor</i>	Mendeteksi benda kerja berdasarkan intensitas cahaya yang diterima <i>photo sensor</i> pada <i>separation & conveyor transfer</i>
3	<i>Proximity sensor</i>	Mendeteksi benda kerja material logam pada <i>separation & conveyor transfer</i>
4	<i>Capacitive Sensor</i>	Mendeteksi benda kerja dengan material logam dan non-logam pada <i>separation & conveyor transfer</i>

No	Nama	Fungsi
5	Photo fiber sensor 1	Mendeteksi benda kerja pada proses akhir <i>separation and conveyor transfer</i>
6	<i>Auto switch 7</i>	Mendeteksi pneumatik <i>insert</i>
7	<i>Auto switch 8</i>	Mendeteksi pneumatik <i>insert return</i>
8	<i>Auto switch 9</i>	Mendeteksi pneumatik <i>eject</i>
9	<i>Auto switch 10</i>	Mendeteksi pneumatik <i>eject return</i>

Langkah kerja program dimulai dengan perlakuan operator melalui tombol mulai (START) dan diberhentikan dengan tombol *STOP*. Penambahan *input* seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Penambahan *input* program

No	Nama	Simbol	Fungsi
1	Tombol Mulai	<i>Start</i>	Untuk memulai program keseluruhan
2	Tombol <i>Stop</i>	<i>Stop</i>	Untuk memberhentikan proses keseluruhan

Tabel 3.3 Data *output* modul 1

No	Nama	Fungsi
1	Conveyor 1	Membawa benda kerja dari <i>magazine</i> dengan penggerak motor DC
2	Pneumatik <i>Supply Insert</i>	Mendorong (<i>insert</i>) benda kerja pada <i>magazine</i> ke <i>conveyor 1</i>
3	Pneumatik <i>Supply Return</i>	Aksi selenoid <i>supply return</i> setelah <i>insert</i>
4	Pneumatik <i>Separation eject</i>	Menyeleksi benda kerja (<i>eject</i>) berwarna bewarna biru
5	Pneumatik <i>Separation Return</i>	Aksi selenoid <i>separation return</i> setelah <i>eject</i>

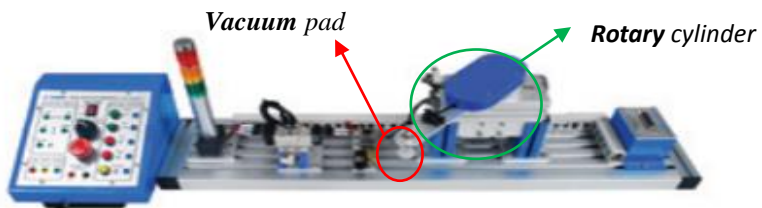
Keterangan simbol dibuat oleh penulis bertujuan untuk memudahkan penulisan pada perancangan program *Petri net* maupun program *ladder diagram*.

Tahapan proses pada modul 1 (*conveyor transfer and separation*) dijelaskan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Tahapan proses Modul 1

Step	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
1	Pneumatik <i>supply insert</i> benda ke conveyor 1	Tombol START	Deteksi <i>Magazine</i> Sensor pada <i>magazine supply</i>
		Pneumatik <i>separation eject</i> benda kerja	
		Tahap akhir proses FAT	
2	Pneumatik <i>supply return</i>	Deteksi <i>Auto switch</i> saat pneumatik <i>insert</i>	Step 1 aktif
3	Conveyor 1 aktif	Deteksi <i>photo fiber sensor 1</i> non-aktif	Step 2 aktif
4	Pneumatik <i>separation eject</i> benda kerja + Timer 1 Counting	Deteksi <i>proximity sensor</i>	Step 3 aktif
5	Pneumatik <i>separation return</i>	Kontaktor <i>Timer 1</i> aktif	Step 4 aktif

3.1.1.2 Langkah kerja modul 2



Gambar 3.4 Konstruksi *pick and place*

Berdasarkan Gambar 3.4 diperoleh data *output* pada modul 2 (*pick and place*) seperti pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6. *Input* pada modul ini adalah kondisi terakhir dari modul 1 (*conveyor transfer and separation*)

dan *Auto switch sensor* yang mendeteksi posisi kerja *rotary cylinder*. Benda kerja yang dijadikan bahan baku proses produksi dilewatkan melalui modul 2 (*pick and place*) untuk dipindahkan ke modul 3 (tempat proses produksi).

Fungsi utama modul 2 (*pick and place*) adalah untuk memindahkan bahan baku benda kerja, karena benda kerja masih dalam bentuk utuh lempengan seperti pada penjelasan bab 2 sehingga benda dapat diserap oleh *Vacuum pad*.

Tabel 3.5 Data input modul 2

No	Nama	Fungsi
24	<i>Auto switch 15</i>	Mendeteksi <i>rotary cylinder</i> CCW
25	<i>Auto switch 16</i>	Mendeteksi <i>rotary cylinder</i> CW
26	<i>Auto switch 17</i>	Mendeteksi <i>rotary up</i>
27	<i>Auto switch 18</i>	Mendeteksi <i>rotary down</i>
28	<i>Auto switch 19</i>	Mendeteksi <i>Vacuum pad</i>

Tabel 3.6 Data output modul 2

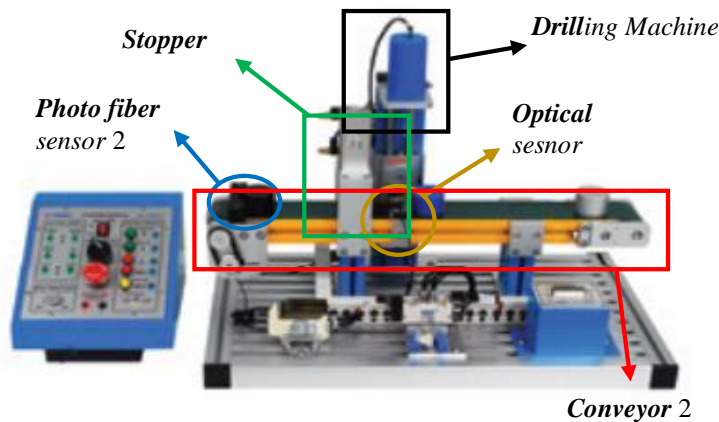
No	Nama	Fungsi
1	<i>Rotary cylinder CW</i>	<i>Rotary cylinder</i> bergerak searah jarum jam
2	<i>Rotary cylinder CCW</i>	<i>Rotary cylinder</i> bergerak berlawanan arah jarum jam
3	<i>Rotary cylinder Up</i>	<i>Rotary cylinder</i> Bergerak ke atas membawa benda kerja atau <i>standby</i>
4	<i>Rotary cylinder down</i>	<i>Rotary cylinder</i> bergerak ke bawah menuju benda kerja atau akan melepaskan benda kerja
5	<i>Vacuum pad</i>	Untuk menghisap benda kerja agar menempel pada pad sehingga benda kerja dapat dipindahkan

Tahapan proses pada modul 2 (*pick and place*) dijelaskan pada Tabel 3.7 berikut ini:

Tabel 3.7 Tahapan proses modul 2

<i>Step</i>	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
6	<i>Rotary cylinder</i> bergerak searah jarum jam(CW)	<i>Step 7 non-aktif + Step 8 non-aktif Step 9 non-aktif</i>	Deteksi <i>photo fiber sensor 1</i> aktif
7	<i>Rotary cylinder down</i> menuju benda kerja	Deteksi <i>Auto switch rotary CW</i>	<i>Step 6</i>
8	<i>Vacuum pad</i> menyerap benda + <i>Timer 2 counting</i>	<i>Step 12 non-aktif + Deteksi Auto switch rotary down</i>	<i>Step 7</i>
9	<i>Rotary cylinder Up</i> membawa benda kerja ke atas	Kontaktor <i>Timer 2</i> aktif	<i>Step 8 aktif</i>
10	<i>Rotary cylinder</i> bergerak berlawanan arah jarum jam (CCW)	Deteksi <i>Auto switch rotary up</i>	<i>Step 9 aktif</i>
11	<i>Rotary cylinder down</i> untuk meletakkan benda kerja ke conveyor 2 + <i>Timer 3 counting</i>	Deteksi <i>Auto switch rotary CCW</i>	<i>Step 10 aktif</i>
12	<i>Rotary cylinder up</i> untuk <i>standby</i>	Kontaktor <i>Timer 3</i> aktif	<i>Step 11 aktif</i>

3.1.1.3 Langkah kerja modul 3



Gambar 3.5 Konstruksi modul conveyor transfer and stopper

Berdasarkan Gambar 3.5 diperoleh data mengenai *input* dan *output* pada modul 3 (*conveyor transfer and stopper*) seperti pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9. Selain itu, pada *Machine drill* dan *stopper* dilengkapi dengan *Auto switch sensor* untuk mendetekdi posisi kerja alat tersebut. Fungsi utama modul ini ada 3, yakni sebagai proses produksi benda kerja dan pengiriman benda kerja.

Tabel 3.8 Data *input* modul 3

No	Nama	Fungsi
1	<i>Optical sensor</i>	Mendeteksi benda kerja pada posisi dibawah mesin <i>drill</i> (letak benda <i>conveyor transfer & stopper</i>)
2	<i>Photo fiber sensor 2</i>	Mendeteksi benda kerja pada proses akhir <i>conveyor transfer & stopper</i>
3	<i>Auto switch 11</i>	Mendeteksi <i>stopper up</i>
4	<i>Auto switch 12</i>	Mendeteksi <i>stopper down</i>
5	<i>Auto switch 13</i>	Mendeteksi <i>drill up</i>
6	<i>Auto switch 14</i>	Mendeteksi <i>drill down</i>

Tabel 3.9 Data *output* modul 3

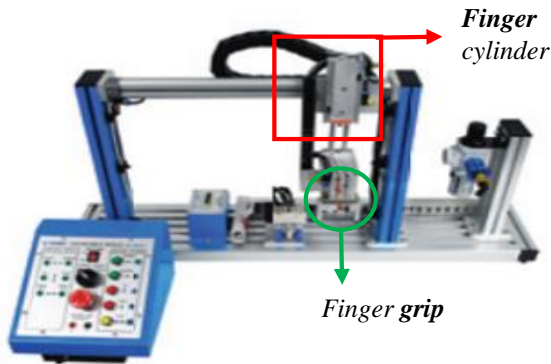
No	Nama	Fungsi
1	Conveyor 2	Membawa benda kerja menuju proses pada mesin <i>drilling</i>
2	Drill Up	Mesin <i>drill</i> bergerak ke atas setelah melakukan proses <i>drilling</i> pada benda kerja
3	Drill Down	Mesin <i>drill</i> bergerak ke bawah menuju benda kerja
4	Drill On	Mesin <i>Drill</i> aktif untuk melakukan proses produksi
5	Stopper Up	<i>Stopper</i> bergerak bergerak ke atas untuk membuka jalur pada <i>conveyor 2</i>

Tahapan proses pada modul 3 (*conveyor transfer and stopper*) dijelaskan pada Tabel 3.10 berikut ini:

Tabel 3.10 Tahapan proses modul 3

Step	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
13	<i>Conveyor 2</i> bergerak untuk membawa benda kerja menuju mesin <i>drill</i>	Deteksi <i>optical sensor</i> non-aktif	Step 12 aktif
		+ Deteksi <i>photo fiber sensor 2</i> non-aktif	Step 16 aktif
14	Mesin <i>drill down</i> menuju benda kerja	Deteksi <i>Auto switch</i> mesin <i>drill up</i> + Step 16 non-aktif	Deteksi <i>optical sensor</i> aktif
15	Mesin <i>drill</i> melakukan proses produksi + Timer 5 Counting		Step 14
16	Mesin <i>drill up</i> setelah melakukan proses produksi	Kontaktor <i>Timer 5</i>	Step 15
17	Stopper up membuka jalur pada konveyor 2 + Timer 6 Counting	Kontaktor <i>Timer 6</i> non-aktif	Step 16 aktif

3.1.1.4 Langkah kerja Modul 4



Gambar 3.6 Konstruksi modul line movement

Berdasarkan dari Gambar 3.6 diperoleh data *output* modul 4 (*line movement*) seperti pada Tabel 3. 11 dan Tabel 3.12 berikut. *Input* dari langkah kerja modul ini adalah dari kondisi akhir modul 3 (*conveyor transfer and stopper*) dan pada *finger cylinder* dilengkapi *Auto switch sensor* untuk mendeteksi posisi kerja alat tersebut. Fungsi utama kegunaan modul ini adalah untuk memindahkan bahan hasil produksi benda kerja.

Tabel 3. 11 Data *input* modul 4

No	Nama	Fungsi
1	<i>Auto switch 1</i>	Mendeteksi <i>finger cylinder foward</i>
2	<i>Auto switch 2</i>	Mendeteksi <i>finger cylinder backward</i>
3	<i>Auto switch 3</i>	Mendeteksi <i>finger cylinder up</i>
4	<i>Auto switch 4</i>	Mendeteksi <i>finger cylinder down</i>
5	<i>Auto switch 5</i>	Mendeteksi <i>finger cylinder open</i>
6	<i>Auto switch 6</i>	Mendeteksi <i>finger cylinder grip</i>

Tabel 3.12 Data *output* modul 4

No	Nama	Fungsi
1	<i>Finger cylinder Foward</i>	Gerak <i>finger cylinder</i> menuju menuju ke conveyor 1

No	Nama	Fungsi
2	<i>Finger cylinder</i> Backward	Gerak <i>finger cylinder</i> menuju ke <i>conveyor 2</i>
3	<i>Finger cylinder</i> Up	Gerak <i>finger cylinder vertical</i> ke atas untuk membawa benda atau <i>standby</i>
4	<i>Finger cylinder</i> Down	Gerak <i>finger cylinder vertical</i> ke bawah menuju benda kerja dan akan melepaskan benda kerja
5	<i>Finger grip</i> Closed	Gerak <i>Finger grip</i> menjepit benda kerja

Langkah kerja sistem pada modul 4 (*line movement*) dijelaskan pada Tabel 3.13 berikut ini:

Tabel 3.13 Tahapan proses modul 4

Step	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
18	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>backward</i> menuju ke <i>conveyor 2</i>	Kontaktor <i>Timer 6</i> aktif	Step 17 aktif
19	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke bawah menuju benda kerja	Deteksi <i>Auto switch finger backward</i>	Step 18 aktif
20	<i>Finger grip</i> bergerak menjepit benda kerja	Deteksi <i>Auto switch finger down</i> + <i>Step 24 non-aktif</i>	Step 19 aktif
21	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke atas membawa benda kerja	Deteksi <i>Auto switch Finger grip</i> + Deteksi <i>photo fiber sensor 2</i> aktif	Step 20 aktif
22a	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>foward</i> menuju <i>conveyor 1</i>	Deteksi <i>Auto switch finger up</i>	Step 21 aktif + Klasifikasi benda kerja 1

<i>Step</i>	<i>Aksi</i>	<i>Syarat Cukup</i>	<i>Syarat Perlu</i>
22b	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>foward</i> menuju <i>conveyor 1</i> + Timer 8 Counting	Deteksi <i>Auto switch finger up</i>	<i>Step 21</i> aktif + Klasifikasi benda kerja 2
23.a	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke bawah meletakkan benda kerja + Counting Timer 7	Deteksi <i>Auto switch sensor finger foward</i>	<i>Step 22a</i> aktif
23.b	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke bawah meletakkan benda kerja Timer 9 Counting	Kontaktor <i>Timer 8</i> aktif	<i>Step 22b</i> aktif
24	<i>Finger grip</i> open		<i>Step 24</i> aktif
	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke atas untuk <i>standby</i>	Kontaktor <i>Timer 7</i> atau <i>Timer 9</i> aktif	Deteksi <i>Auto switch sensor down</i> aktif
25	kembali ke <i>step 1</i>		Setelah <i>step 24</i>

3.1.2 List Data *Input* dan *Output*

List data *input* dan *output* dari ke-4 modul digunakan untuk merancang program *Petri net* dan *ladder diagram*. Untuk memudahkan penulisan dalam pembuatan program maka perlu dibuat simbol seperti pada Tabel 3.14 dan Tabel 3.15 berikut ini:

Tabel 3.14 List data *input* FAT

No	Nama	Simbol
1	Tombol Mulai	<i>Start</i>
2	Tombol <i>Stop</i>	<i>Stop</i>
3	<i>Magazine Sensor</i>	MegSen
4	<i>Photo sensor</i>	PhoSen
5	<i>Proximity sensor</i>	ProSen

No	Nama	Simbol
6	<i>Capacitive Sensor</i>	CapSen
7	<i>Photo fiber sensor 1</i>	Phof1Sen
8	<i>Optical sensor</i>	OptSen
9	<i>Photo fiber sensor 2</i>	Phof2Sen
10	<i>Auto switch 1</i>	AS_Finfo
11	<i>Auto switch 2</i>	AS_FinBa
12	<i>Auto switch 3</i>	AS_FinUp
13	<i>Auto switch 4</i>	AS_FinDo
14	<i>Auto switch 5</i>	AS_FinOp
15	<i>Auto switch 6</i>	AS_FinGrip
16	<i>Auto switch 7</i>	AS_Insert
17	<i>Auto switch 8</i>	AS_Insert_Re
18	<i>Auto switch 9</i>	AS_Eject
19	<i>Auto switch 10</i>	AS_Eject_Re
20	<i>Auto switch 11</i>	AS_StoUp
21	<i>Auto switch 12</i>	AS_StoDo
22	<i>Auto switch 13</i>	AS_DrlUp
23	<i>Auto switch 14</i>	AS_DrlDo
24	<i>Auto switch 15</i>	AS_RotCCW
25	<i>Auto switch 16</i>	AS_RotCW
26	<i>Auto switch 17</i>	AS_RotUp
27	<i>Auto switch 18</i>	AS_RotDo
28	<i>Auto switch 19</i>	AS_Vacuum

Tabel 3.15 List data *output* FAT

No	Nama	Simbol
1	<i>Conveyor 1</i>	Conv1
2	<i>Pneumatik Supply Insert</i>	<i>Insert</i>
3	<i>Pneumatik Supply Return</i>	<i>Insert_Re</i>
4	<i>Pneumatik Separation eject</i>	<i>Eject</i>
5	<i>Pneumatik Separation Return</i>	<i>Eject_Re</i>
6	<i>Rotary cylinder CW</i>	RotCW
7	<i>Rotary cylinder CCW</i>	RotCCW
8	<i>Rotary cylinder Up</i>	RotUp
9	<i>Rotary cylinder down</i>	RotDo
10	<i>Vacuum pad</i>	VAC

No	Nama	Simbol
11	<i>Conveyor 2</i>	Conv2
12	<i>Drill Up</i>	DrIUp
13	<i>Drill Down</i>	DrIDo
14	<i>Drill On</i>	DrIOn
15	<i>Stopper Up</i>	StoUp
16	<i>Finger cylinder Foward</i>	FinFo
17	<i>Finger cylinder Backward</i>	FinBa
18	<i>Finger cylinder Up</i>	FinUp
19	<i>Finger cylinder Down</i>	FinDo
20	<i>Finger grip Open</i>	FinOp

3.2 Perancangan *Petri net* Sistem

Program *Petri net* merupakan sebuah tahapan proses yang merepresentasikan alur sinyal dari proses otomatisasi. Pembuatan program *Petri net* dibuat menggunakan *software GreatSPN Editor*, salah satu kelebihan menggunakan *software* ini adalah presisi peletakan *place* dan *transition*, serta dapat disimulasikan sebelum, dengan adanya simulasi tersebut sehingga apabila terjadi permasalahan pada perancangan proses maka dapat diperbaiki sebelum program dikonversi ke *ladder diagram*.

3.2.1 Perumusan Program

Perumusan program merupakan hal terpenting untuk memudahkan perancangan *Petri net*, yakni dengan mengetahui deskripsi setiap event yang akan dikerjakan dan syarat-syarat event dijalankan. Perumusan program dibuat dalam bentuk verbal seperti pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Perumusan program FAT

Step	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
1	Pneumatik <i>supply insert</i> benda ke conveyor 1	Tombol START	Deteksi <i>Magazine Sensor</i> pada <i>magazine supply</i>
		Pneumatik <i>seperation eject</i> benda kerja	
		Tahap akhir proses FAT	
2	Pneumatik <i>supply return</i>	Deteksi <i>Auto switch</i> saat pneumatik <i>insert</i>	Step 1 aktif

<i>Step</i>	<i>Aksi</i>	<i>Syarat Cukup</i>	<i>Syarat Perlu</i>
3	<i>Conveyor 1 aktif</i>	Deteksi <i>photo fiber sensor 1</i> non-aktif	<i>Step 2 aktif</i>
4	Pneumatik <i>separation eject</i> benda kerja + <i>Timer 1 Counting</i>	Deteksi <i>proximity sensor</i>	<i>Step 3 aktif</i>
5	Pneumatik <i>separation return</i>	Kontaktor <i>Timer 1</i> aktif	<i>Step 4 aktif</i>
6	<i>Rotary cylinder</i> bergerak searah jarum jam(CW)	<i>Step 7</i> non-aktif + <i>Step 8</i> non-aktif <i>Step 9</i> non-aktif	Deteksi <i>photo fiber sensor 1</i> aktif
7	<i>Rotary cylinder down</i> menuju benda kerja	Deteksi <i>Auto switch rotary CW</i>	<i>Step 6</i>
8	<i>Vacuum pad</i> menyerap benda + <i>Timer 2 counting</i>	<i>Step 12</i> non-aktif + Deteksi <i>Auto switch rotary down</i>	<i>Step 7</i>
9	<i>Rotary cylinder Up</i> membawa benda kerja ke atas	Kontaktor <i>Timer 2</i> aktif	<i>Step 8 aktif</i>
10	<i>Rotary cylinder</i> bergerak berlawanan arah jarum jam (CCW)	Deteksi <i>Auto switch rotary up</i>	<i>Step 9 aktif</i>
11	<i>Rotary cylinder down</i> untuk meletakkan benda kerja ke conveyor 2 + <i>Timer 3 counting</i>	Deteksi <i>Auto switch rotary CCW</i>	<i>Step 10 aktif</i>
12	<i>Rotary cylinder up</i> untuk standby	Kontaktor <i>Timer 3</i> aktif	<i>Step 11 aktif</i>

<i>Step</i>	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
13	<i>Conveyor 2</i> bergerak untuk membawa benda kerja menuju mesin <i>drill</i>	Deteksi <i>optical sensor</i> non-aktif + Deteksi <i>photo fiber sensor 2</i> non-aktif	<i>Step 12</i> aktif
			<i>Step 16</i> aktif
14	Mesin <i>drill down</i> menuju benda kerja	Deteksi <i>Auto switch</i> mesin <i>drill up</i> + <i>Step 16</i> non-aktif	Deteksi <i>optical sensor</i> aktif
15	Mesin <i>drill</i> melakukan proses produksi + <i>Timer 5 Counting</i>		<i>Step 14</i>
16	Mesin <i>drill up</i> setelah melakukan proses produksi	Kontaktor <i>Timer 5</i>	<i>Step 15</i>
17	<i>Stopper up</i> membuka jalur pada konveyor 2 + <i>Timer 6 Counting</i>	Kontaktor <i>Timer 6</i> non-aktif	<i>Step 16</i> aktif
18	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>backward</i> menuju ke <i>conveyor 2</i>	Kontaktor <i>Timer 6</i> aktif	<i>Step 17</i> aktif
19	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke bawah menuju benda kerja	Deteksi <i>Auto switch finger backward</i>	<i>Step 18</i> aktif
20	<i>Finger grip</i> bergerak menjepit benda kerja	Deteksi <i>Auto switch finger down</i> + <i>Step 24</i> non-aktif	<i>Step 19</i> aktif
21	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke atas membawa benda kerja	Deteksi <i>Auto switch Finger grip</i> + Deteksi <i>photo fiber sensor 2</i> aktif	<i>Step 20</i> aktif

<i>Step</i>	<i>Aksi</i>	<i>Syarat Cukup</i>	<i>Syarat Perlu</i>
22a	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>foward</i> menuju <i>conveyor 1</i>	Deteksi <i>Auto switch finger up</i>	<i>Step 21</i> aktif + Klasifikasi benda kerja 1
22b	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>foward</i> menuju <i>conveyor 1</i> + <i>Timer 8 Counting</i>	Deteksi <i>Auto switch finger up</i>	<i>Step 21</i> aktif + Klasifikasi benda kerja 2
23.a	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke bawah meletakkan benda kerja + <i>Counting Timer 7</i>	Deteksi <i>Auto switch sensor finger foward</i>	<i>Step 22a</i> aktif
23.b	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke bawah meletakkan benda kerja <i>Timer 9 Counting</i>	Kontaktor <i>Timer 8</i> aktif	<i>Step 22b</i> aktif
24	<i>Finger grip</i> open		<i>Step 24</i> aktif
	<i>Finger cylinder</i> bergerak <i>vertical</i> ke atas untuk <i>standby</i>	Kontaktor <i>Timer 7</i> atau <i>Timer 9</i> aktif	Deteksi <i>Auto switch sensor down</i> aktif
25	kembali ke <i>step 1</i>		Setelah <i>step 24</i>

Langkah kerja sistem FAT untuk produksi ring diperoleh perumusan program sebanyak 25 *step*. Setiap *step* dipengaruhi oleh syarat cukup dan syarat perlu.

- Syarat perlu
Merupakan syarat utama yang harus terpenuhi untuk mengaktifkan aktuator, syarat ini harus ada pada masing-masing *step*.
- Syarat cukup
Merupakan syarat yang mempengaruhi aksi setiap aktuator untuk kondisi tertentu, apabila syarat ini terpenuhi maka aktuator dapat aktif ataupun dapat digunakan untuk me-nonaktifkan aktuator.

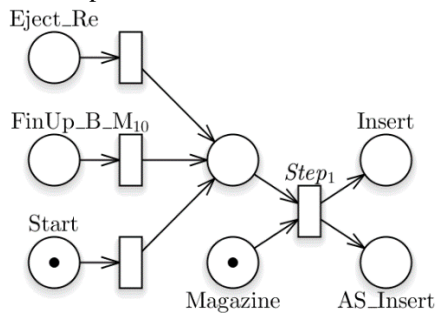
3.2.2 Perancangan *Petri net*

Pemodelan program *Petri net* dibuat sesuai dengan langkah kerja sistem yang telah dijabarkan dalam bentuk perumusan program secara verbal pada pembahasan sebelumnya. Untuk memudahkan pemahaman pemodelan *Petri net*, program dijelaskan setiap *step*.

➤ *Step 1*

Step pertama pada Gambar 3.7 adalah memasukan (*insert*) benda kerja ke konveyor 1 dengan aksi pneumatik *supply insert*. Tahap pertama dapat dikerjakan apabila terdapat benda kerja pada *magazine supply* dan bisa disebabkan oleh 3 kejadian, yakni:

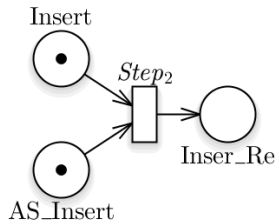
- 1) ketika tombol START telah ON
- 2) Benda kerja yang tidak diproses (warna biru) telah dipisahkan dari konveyor 1 oleh pneumatik *separation eject*
- 3) Tahap akhir dari proses FAT.



Gambar 3.7 *Petri net step 1*

➤ *Step 2*

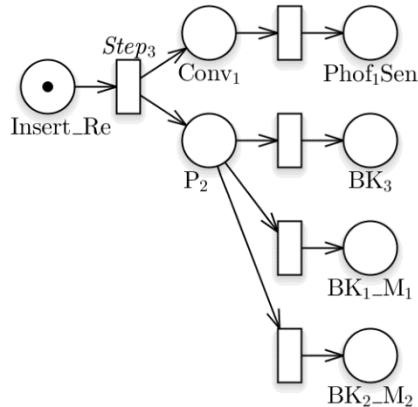
Gambar 3.8 ialah pneumatik *supply* bergerak kembali (*return*) setelah mendorong benda ke konveyor 1. *Step 2* dikerjakan apabila *step 1* telah dikerjakan dan deteksi *Auto switch sensor insert* aktif.



Gambar 3.8 *Petri net step 2*

➤ *Step 3*

Langkah ketiga pada Gambar 3.9 adalah konveyor 1 aktif disebabkan oleh pneumatik *supply insert* aktif. Konveyor pertama akan terus aktif sampai benda kerja terdeteksi oleh *photo fiber sensor* 1.

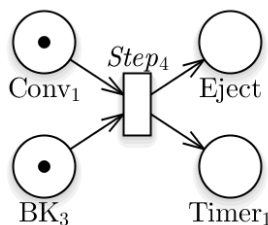


Gambar 3.9 *Petri net step 3*

Saat konveyor 1 aktif, benda kerja dibawa melewati deteksi sensor untuk klasifikasi jenis material dan warna. Untuk benda kerja jenis 2 (BK2) dan benda kerja 3 (BK3) akan diteruskan sampai menyentuh *photo fiber sensor* 2.

➤ *Step 4*

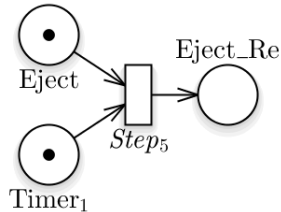
Setelah *step 3* aktif, benda kerja 1 yang tidak diproduksi dipisahkan dari Konveyor pertama menggunakan pneumatik *separation eject*. Benda kerja tersebut adalah benda kerja berwarna putih (BK3) yang terdeteksi oleh *proximity sensor*, *photo sensor* dan *capasitive sensor*.



Gambar 3.10 *Petri net step 4*

➤ *Step 5*

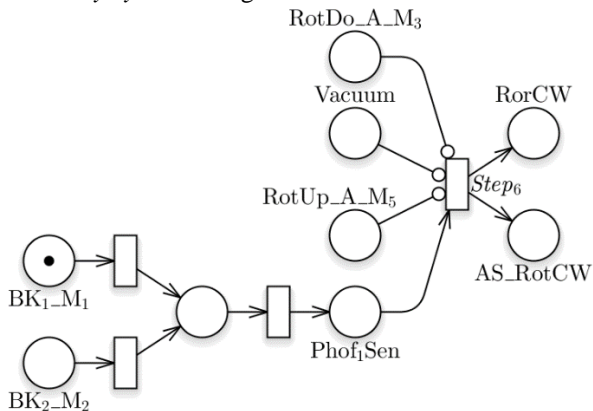
Step 5 pada Gambar 3.11 adalah pneumatik *separation eject* bergerak kembali setelah mendorong benda keluar dari konveyor pertama. Deteksi benda kerja untuk klasifikasi dan pneumatik *separation* terdapat jarak tertentu. oleh karena itu, dibuat *Timer* untuk menentukan kapan *step 5* aktif.



Gambar 3.11 Petri net step 5

➤ *Step 6*

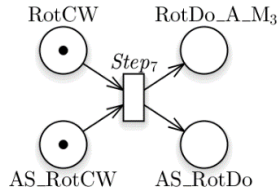
Step 6 seperti pada Gambar 3.12 adalah *rotary cylinder* bergerak *clock wise* (CW) menuju konveyor pertama setelah benda kerja terdeteksi oleh *photo fiber sensor 1* dan benda kerja yang akan diproduksi adalah benda kerja berwarna hitam (terdeteksi oleh *capasitive sensor*) dan benda kerja berwarna putih (terdeteksi oleh *capasitive sensor*, *photo sensor* dan *proximity sensor*). *Step 6* tidak dapat aktif apabila *rotary cylinder* telah bergerak vertikal ke bawah menuju benda kerja, *Vacuum pad* telah aktif untuk menyerap benda kerja dan *rotary cylinder* bergerak ke atas membawa benda kerja.



Gambar 3.12 Petri net step 6

➤ *Step 7*

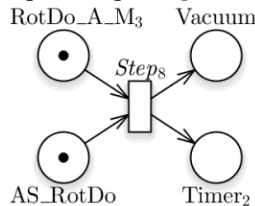
Rotary cylinder bergerak vertikal ke bawah menuju benda kerja. *Step 7* aktif apabila *step 6* telah dikerjakan dan *finger cylinder* telah terdeteksi oleh *Auto switch sensor* saat posisi kerja selesai bergerak CW seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Petri net Step 7

➤ *Step 8*

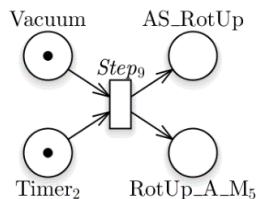
Step 8 pada Gambar 3.14 adalah *Vacuum pad* menyerap benda, *step* tersebut dapat dikerjakan apabila *step 7* telah selesai dikerjakan dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *rotary cylinder down*. Benda akan terus terserap oleh pad sampai *step 12* akan dikerjakan.



Gambar 3.14 Petri net step 8

➤ *Step 9*

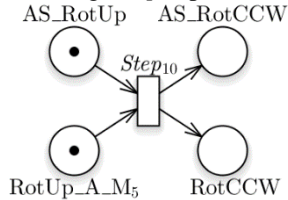
Gambar 3.15 ialah *Rotary cylinder* bergerak vertikal ke atas membawa benda kerja setelah menyerap benda. Selain itu, ditambahkan *Timer* untuk memberikan jeda proses penyerapan benda.



Gambar 3.15 Petri net step 9

➤ *Step 10*

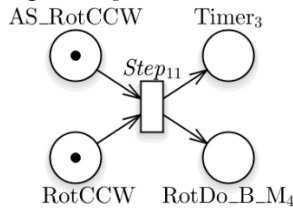
Step berikutnya adalah *rotary cylinder* bergerak CCW setelah *step 9* telah dikerjakan. Pada *step 10* (Gambar 3.16) diberikan tambahan *Timer* untuk digunakan sebagai *input* proses selanjutnya.



Gambar 3.16 Petri net step 10

➤ *Step 11*

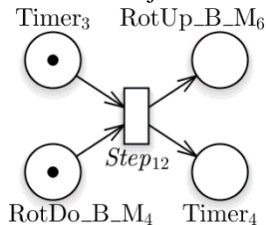
Setelah *rotary cylinder* bergerak CCW, *rotary cylinder* akan bergerak vertikal ke bawah (Gambar 3.17) untuk meletakkan benda kerja di konveyor 2. *Input* yang digunakan adalah *step 10* telah dikerjakan dan *Timer* pada *step 10* aktif.



Gambar 3.17 Petri net step 11

➤ *Step 12*

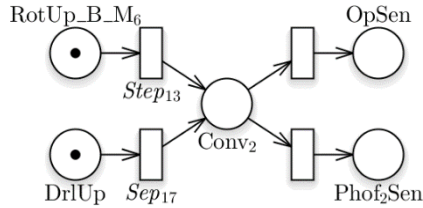
Vacuum pad akan off sehingga benda kerja terlepas dari pad kemudian *step 12* pada Gambar 3.18 adalah *rotary cylinder* bergerak ke atas untuk kembali ke posisi *standby*. *Step 12* dikerjakan apabila *step* sebelumnya telah selesai dikerjakan dan *Timer* aktif.



Gambar 3.18 Petri net step 12

➤ *Step 13*

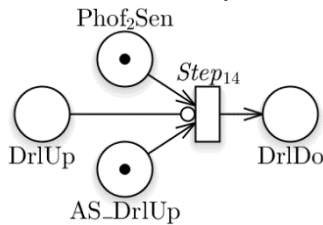
Setelah benda diletakkan pada konveyor 2, langkah selanjutnya Gambar 3.19 adalah konveyor akan membawa benda kerja ke *Machine drill* untuk diproduksi. Konveyor 2 akan berhenti ketika benda kerja telah terdeteksi oleh *optical sensor* dan aktif kembali setelah proses produksi telah selesai dikerjakan.



Gambar 3.19 Petri net step 13

➤ *Step 14*

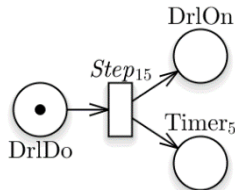
Gambar 3.20 ini adalah *Machine drill* bergerak vertikal ke bawah menuju benda kerja ketika *optical sensor* telah mendeteksi benda kerja serta posisi *Machine drill* sebelumnya terdeteksi pada posisi *up*.



Gambar 3.20 Petri net step 14

➤ *Step 15*

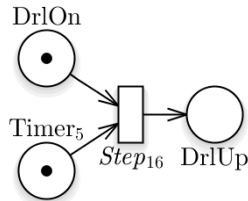
Proses produksi pembuatan ring dikerjakan setelah *Machine drill* bergerak menuju benda kerja. *Machine drill* (Gambar 3.21) bekerja diasumsikan dengan batas waktu tertentu menggunakan *Timer*.



Gambar 3.21 Petri net step 15

➤ *Step 16*

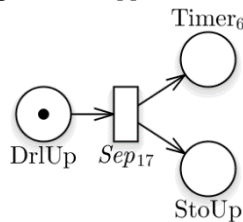
Setelah batas waktu proses produksi telah selesai, *Machine drill* akan bergerak ke atas (Gambar 3.22) untuk kembali ke posisi *standby*. Konveyor 2 aktif kembali setelah *step 16* telah selesai dikerjakan.



Gambar 3.22 Petri net step 16

➤ *Step 17*

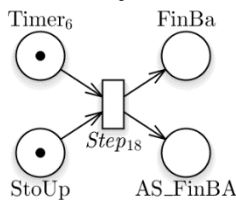
Ketika proses produksi telah selesai dan langkah ke-16 telah selesai dikerjakan maka *stopper* akan bergerak ke atas untuk membuka jalur pada konveyor sehingga benda kerja dapat dikirimkan ke tahap berikutnya. *Step 17* pada Gambar 3.23 diberikan *Timer* untuk memberikan aksi berapa lama *stopper* membuka jalur konveyor.



Gambar 3.23 Petri net step 17

➤ *Step 18*

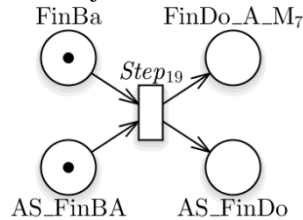
Timer pada *step 17* telah selesai maka *step* selanjutnya adalah *finger cylinder* bergerak *backward* menuju benda kerja (Gambar 3.24).



Gambar 3.24 Petri net step 18

➤ *Step 19*

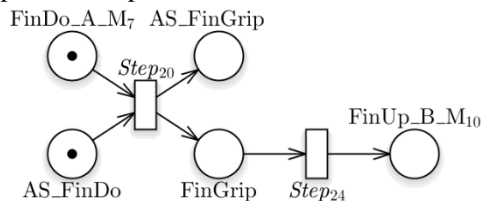
Model peteri net pada Gambar 3. 25 adalah ketika benda kerja hasil produksi telah terdeteksi oleh *photo fiber sensor* dan *step 18* telah selesai dikerjakan serta *finger cylinder* terdeteksi oleh *Auto switch sensor* pada posisi *backward* maka *finger cylinder* bergerak vertikal ke bawah menuju benda kerja.



Gambar 3. 25 Petri net step 19

➤ *Step 20*

Setelah *step 19* telah selesai dikerjakan dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *finger cylinder down* maka *Finger grip* aktif untuk menjepit benda kerja hasil produksi. *Finger grip* akan melepaskan benda kerja apabila *step 24* akan aktif yaitu posisi *finger cylinder* pada pengepakan hasil produksi.



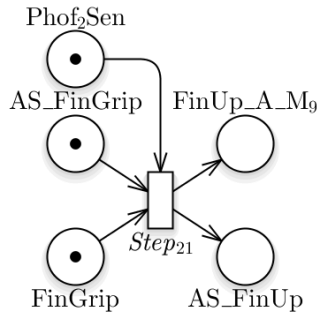
Gambar 3.26 Petri net step 20

Pada Gambar 3.26 tersebut, *finger cylinder* bergerak ke atas atau dengan inisial M10 digunakan untuk menonaktifkan *Finger grip*. Ketika *finger cylinder* telah selesai meletakkan benda ke pengepakan maka *Finger grip* akan membuka untuk melepaskan benda.

➤ *Step 21*

Step 21 pada Gambar 3.27 adalah *finger cylinder* bergerak ke atas membawa benda kerja hasil produksi. Langkah ini akan dikerjakan

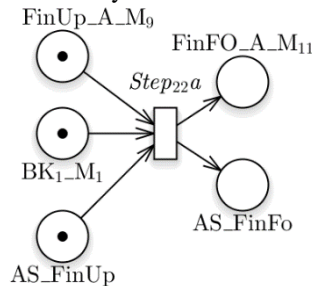
setelah langkah sebelumnya telah selesai dikerjakan dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *Finger grip*.



Gambar 3.27 Petri net step 21

➤ *Step 22a*

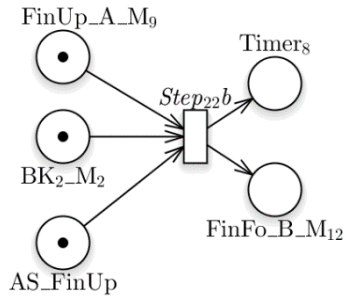
Gambar 3.28 adalah *Finger cylinder* bergerak horizontal menuju tempat pengepakan (*foward*) ketika *step 21* telah dikerjakan dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *finger cylinder up* serta benda yang dipindahkan adalah sebelumnya terdeteksi klasifikas benda kerja 1.



Gambar 3.28 Petri net step 22a

➤ *Step 22b*

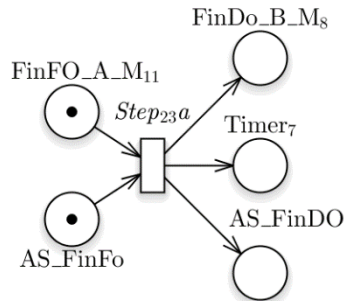
Gambar 3.29 adalah *Finger cylinder* bergerak horizontal menuju tempat pengepakan (*foward*) ketika *step 21* telah dikerjakan dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *finger cylinder up* serta benda yang dipindahkan adalah sebelumnya terdeteksi klasifikas benda kerja 2.



Gambar 3.29 Petri net Step 22b

➤ *Step 23a*

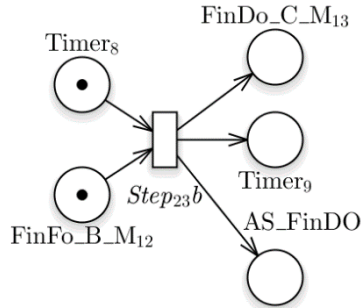
Klasifikasi benda kerja 2 yakni benda kerja berwarna biru jenis material plastik terdeteksi oleh *photo sensor* setelah produksi akan diletakkan pada pengepakan jenis benda tersebut. *step 23* Gambar 3.30 adalah *finger cylinder* bergerak ke bawah untuk melatakkan benda hasil produksi ke tempat pengepakan setelah *step 22a*, deteksi *auto swicth sensor* mendeteksi posisi *finger cylinder foward*.



Gambar 3.30 Pteri net step 23a

➤ *Step 23b*

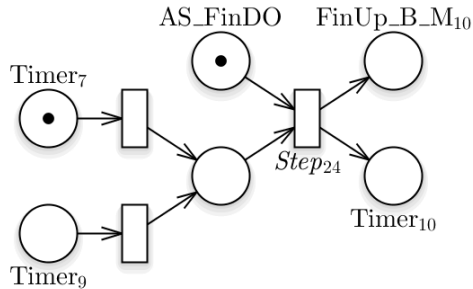
Klasifikasi benda kerja 2 yakni benda kerja berwarna hitam jenis material plastik yang terdeteksi oleh *capastive sensor* setelah produksi akan diletakkan pada pengepakan jenis benda tersebut. *Step 23* pada Gambar 3.31 adalah *finger cylinder* bergerak ke bawah untuk meletakkan benda kerja hasil produksi dengan syarat *step 22b* telah selesai dikerjakan dan kontaktor *Timer 8* telah aktif.



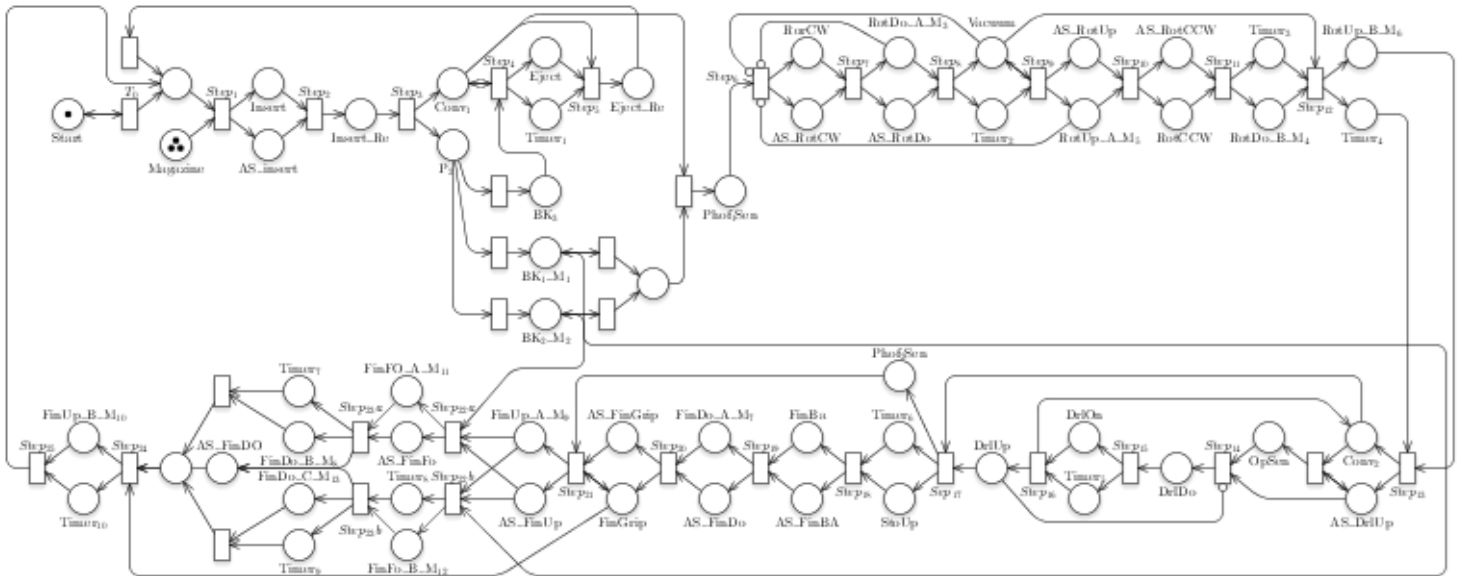
Gambar 3.31 Petri net step 23b

➤ *Step 24*

Gambar 3.32 adalah *Finger cylinder* bergerak ke atas untuk *standby* setelah meletakkan benda kerja hasil produksi. Kemudian proses akan berulang ke *step* pertama yakni ketika *finger cylinder standby*, pada waktu bersamaan pneumatik *insert* mendorong benda kerja masuk ke konveyor pertama.



Gambar 3.32 Petri net step 24



Gambar 3.33 Program Petri net FAT

3.3 Pemrograman *Ladder diagram*

Program *ladder diagram* dibuat berdasarkan perancangan model *petri net* pada pembahasan sebelumnya. Pada perancangan *ladder diagram* perlu disertakan alamat setiap *input* dan *output* yang digunakan untuk dihubungkan ke *plant* yang akan dikontrol. Kecuali untuk *Memory* dan *Timer* digunakan alamat untuk *Memory*.

3.3.1 Pengalamatan *Input* dan *output*

Berikut pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.18 merupakan pengalamatan digital *input* dan digital *output* pada PLC LG Glofa.

Tabel 3.17 Pengalamatan *digital input*

No	Alamat	Nama	Simbol
1	%IX0.0.0	<i>Auto switch 1</i>	AS_Finfo
2	%IX0.0.1	<i>Auto switch 2</i>	AS_FinBa
3	%IX0.0.2	<i>Auto switch 3</i>	AS_FinUp
4	%IX0.0.3	<i>Auto switch 4</i>	AS_FinDo
5	%IX0.0.4	<i>Auto switch 5</i>	AS_FinOp
6	%IX0.0.5	<i>Auto switch 6</i>	AS_FinGrip
7	%IX0.0.6	<i>Megazine Sensor</i>	MagSen
8	%IX0.0.7	<i>Photo Sensor</i>	PhoSen
9	%IX0.0.8	<i>Proximity sensor</i>	ProSen
10	%IX0.0.9	<i>Capasitive sensor</i>	CapSen
11	%IX0.0.10	<i>Auto switch 7</i>	AS_Insert
12	%IX0.0.11	<i>Auto switch 8</i>	AS_Insert_Re
13	%IX0.0.12	<i>Auto switch 9</i>	AS_Eject
14	%IX0.0.13	<i>Auto switch 10</i>	AS_Eject_Re
15	%IX0.0.14	<i>Photo fiber sensor 1</i>	PhoflSen
16	%IX0.0.15	Tombol Mulai	START
17	%IX0.1.0	<i>Auto switch 11</i>	AS_StoUp
18	%IX0.1.1	<i>Auto switch 12</i>	AS_StoDo
19	%IX0.1.2	<i>Optical sensor</i>	OptSen
20	%IX0.1.3	<i>Auto switch 13</i>	AS_DrlUp
21	%IX0.1.4	<i>Auto switch 14</i>	AS_DrlDo

No	Alamat	Nama	Simbol
22	%IX0.1.5	<i>Photo fiber sensor 2</i>	Phof2Sen
23	%IX0.1.6	<i>Auto switch 15</i>	AS_RotCCW
24	%IX0.1.7	<i>Auto switch 16</i>	AS_RotCW
25	%IX0.1.8	<i>Auto switch 17</i>	AS_RotUp
26	%IX0.1.9	<i>Auto switch 18</i>	AS_RotDo
27	%IX0.1.11	<i>Tombol Stop</i>	STOP

Tabel 3.18 Pengalamanatan *digital output*

No	Alamat	Nama	Simbol
1	%QX0.2.0	<i>Finger cylinder Foward</i>	FinFo
2	%QX0.2.1	<i>Finger cylinder Backward</i>	FinBa
3	%QX0.2.2	<i>Finger cylinder Up</i>	FinUp
4	%QX0.2.3	<i>Finger cylinder Down</i>	FinDo
5	%QX0.2.4	<i>Finger grip Grip</i>	FinGrip
6	%QX0.2.6	<i>Pneumatik Supply Insert</i>	Insert
7	%QX0.2.7	<i>Pneumatik Supply Return</i>	Insert_Re
8	%QX0.2.8	<i>Pneumatik Separation eject</i>	Eject
9	%QX0.2.9	<i>Pneumatik Separation Return</i>	Eject_Re
10	%QX0.2.10	<i>Conveyor 1</i>	Conv1
11	%QX0.3.0	<i>Stopper Up</i>	StoUp
12	%QX0.3.1	<i>Drill Up</i>	DrlUp
13	%QX0.3.2	<i>Drill Down</i>	DrlDo
14	%QX0.3.3	<i>Drill On</i>	DrlOn
15	%QX0.3.4	<i>Conveyor 2</i>	Conv2
16	%QX0.3.6	<i>Rotary cylinder CCW</i>	RotCCW
17	%QX0.3.7	<i>Rotary cylinder CW</i>	RotCW
18	%QX0.3.8	<i>Rotary cylinder Up</i>	RotUp
19	%QX0.3.9	<i>Rotary cylinder down</i>	RotDo
20	%QX0.3.10	<i>Vacuum pad</i>	VAC
21	%QX0.3.11	<i>Indikator Lampu Merah</i>	Sign. Red
22	%QX0.3.12	<i>Indikator Lampu Kuning</i>	Sign Yellow
23	%QX0.3.13	<i>Indikator Lampu Hijau</i>	Sign. Green

Tabel 3.19 Pengalamatan *Memory*

No	Alamat	Nama	Fungsi
1	%MW1.1	M1	Deteksi benda kerja 1
2	%MW1.2	M2	Deteksi benda kerja 2
3	%MW1.3	M3	<i>Rotary cylinder</i> bergerak vertikal ke bawah
4	%MW1.4	M4	
5	%MW1.5	M5	<i>Rotary cylinder</i> bergerak vertikal ke atas
6	%MW1.6	M6	
7	%MW1.7	M7	<i>Finger cylinder</i> bergerak vertikal ke bawah
8	%MW1.8	M8	
9	%MW1.9	M9	<i>Finger cylinder</i> bergerak vertikal ke atas
10	%MW1.10	M10	
11	%MW1.11	M11	<i>Finger cylinder</i> bergerak vertikal ke bawah
12	%MW1.12	M12	
13	%MW1.13	M13	<i>Finger cylinder</i> bergerak horizontal menuju konveyor pertama

Tabel 3.20 Pengalamatan *Timer* pada program PLC

No	Alamat	Nama	Fungsi
1	%MW0.1	T1	Waktu yang dibutuhkan pneumatik <i>separation return</i> setelah mendorong benda kerja
2	%MW0.2	T2	Waktu yang dibutuhkan <i>Vacuum pad</i> untuk menyerap benda kerja
3	%MW0.3	T3	Waktu yang dibutuhkan <i>Vacuum pad</i> melepaskan benda kerja
4	%MW0.4	T4	Waktu yang dibutuhkan untuk menonaktifkan <i>rotary cylinder</i> bergerak vertikal ke atas
5	%MW0.5	T5	Waktu yang dibutuhkan <i>Machine drill</i> untuk melakukan proses produksi

No	Alamat	Nama	Fungsi
6	%MW0.6	T6	Waktu yang dibutuhkan <i>stopper</i> bergerak ke atas
7	%MW0.7	T7	Waktu yang dibutuhkan <i>Finger grip</i> untuk melepaskan benda kerja
8	%MW0.8	T8	Waktu yang dibutuhkan <i>finger cylinder</i> bergerak menuju ke konveyor pertama
9	%MW0.9	T9	Waktu yang dibutuhkan <i>Finger grip</i> untuk melepaskan benda kerja
10	%MW0.10	T10	Waktu diperlukan untuk menonaktifkan <i>finger cylinder</i> bergerak vertikal ke atas

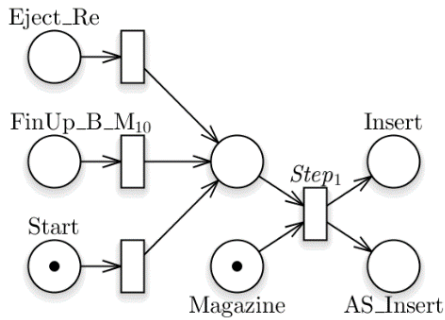
3.3.2 Proses konstruksi *Ladder diagram*

Setelah pemodelan *petri net* didapatkan, tahap selanjutnya adalah mengkonversi model PN ke LD. Untuk memudahkan pemahaman mengenai konversi PN ke LD maka proses konversi dilakukan *perstep* sesuai dengan teori dasar yang dijelaskan pada bab 2.

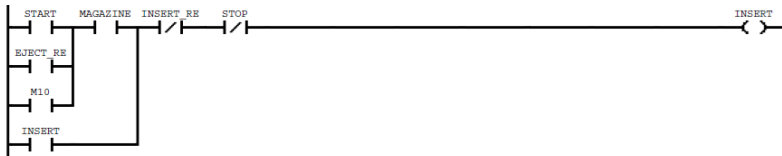
Metode konversi PN yang digunakan ialah *self holding*. Setiap *rung* pada PLC LG, kami sertakan *comment* untuk memberikan keterangan pada masing-masing *rung*. *Relay* pada PLC LG tidak bisa dihubungkan melewati *rung* komentar, oleh karena itu tombol *stop* kami berikan pada setiap *rung*.

➤ Step 1

Step 1 memiliki empat *input*, tiga *input* merupakan operasi OR (Eject_Re, FinUp_B_M₁₀ dan tombol start), hasil operasi OR dihubungkan dengan *input* magazine (Operasi AND) seperti pada Gambar 3.34. Sehingga *ladder diagram* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.35.



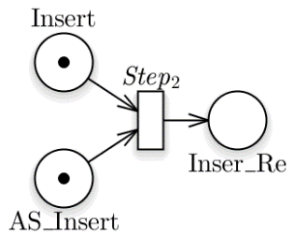
Gambar 3.34 PN step 1



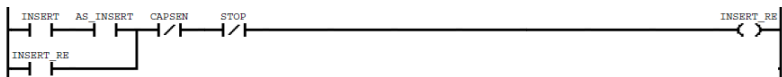
Gambar 3.35 Ladder diagram step 1

➤ *Step 2*

Input Insert dan AS_Insert dihubungkan dengan operasi AND untuk mengaktifkan step 2 seperti pada Gambar 3.36. Berikut konversi ladder diagram step 2 pada Gambar 3.37.



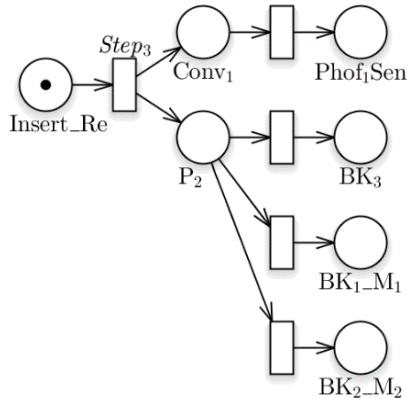
Gambar 3.36 PN step 2



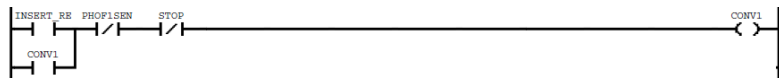
Gambar 3.37 Ladder diagram step 2

➤ *Step 3*

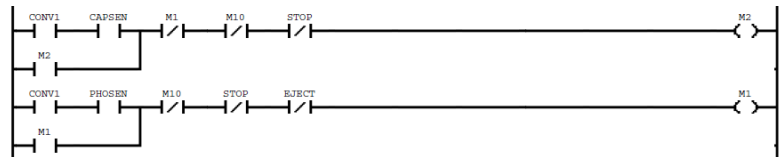
Conv1 aktif apabila Insert_Re aktif dan non-aktif saat benda kerja terdeteksi Phof1Sen. Ketika benda kerja dibawa oleh konveyor pertama maka benda terklasifikasi menjadi benda kerja 1, 2 dan 3 seperti pada Gambar 3.38. Berikut konstruksi *ladder diagram step 3* (Gambar 3.39) dan klasifikasi benda kerja (Gambar 3.40).



Gambar 3.38 PN step 3



Gambar 3.39 Ladder diagram step 3

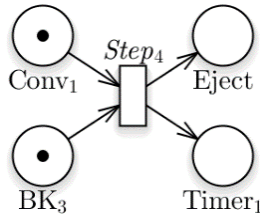


Gambar 3.40 Ladder diagram klasifikasi benda kerja

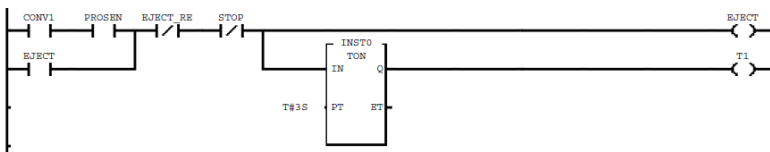
Memory M1 dan M2 digunakan untuk proses pengepakan, oleh karena itu *rung* tersebut akan diberhentikan oleh *step 24* (M10). Deteksi sensor kapasitiv terjadi lebih awal dan lebih lama, oleh karena itu untuk menghindari terjadinya aktif Memory M1 dan M2 secara bersamaan kami berikan *stop* berupa Memory M1 pada Memory M2. Begitupun dengan Memory M1 kami berhentikan dengan deteksi *proximity sensor* (ProSen mengaktifkan *eject* pada *step 4*).

➤ *Step 4*

Konveyor 1 aktif dan benda kerja terdeteksi benda kerja tipe 3 (benda warna putih jenis material logam) maka benda dipisahkan dari konveyor pertama seperti pada Gambar 3.41. *Timer 1* dihitung untuk menentukan pneumatik *separation* bergerak kembali (*return*). Sehingga *ladder diagram* tersebut adalah pada Gambar 3.42.



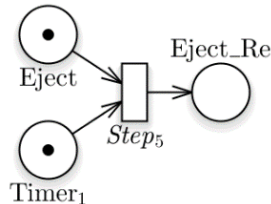
Gambar 3.41 PN step 4



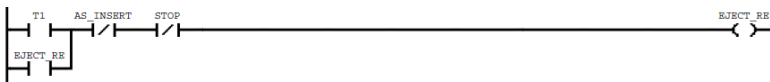
Gambar 3.42 Ladder diagram step 4

➤ *Step 5*

Setelah kontaktor *Timer 1* aktif maka pneumatik *separation* bergerak *return* seperti pada Gambar 3.43. *Ladder diagram*nya dapat dilihat pada Gambar 3.44. Setelah pneumatik *eject* aktif maka *step* selanjutnya adalah kembali ke *step 1*.



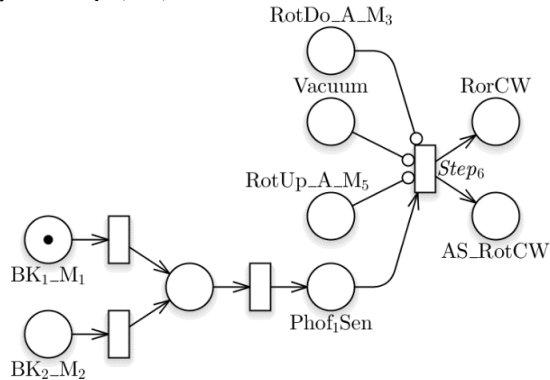
Gambar 3.43 PN step 5



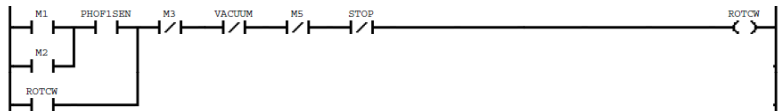
Gambar 3.44 Ladder diagram step 5

➤ *Step 6*

Dari Gambar 3.45 diperoleh konversi seperti pada Gambar 3.46 yang menyatakan bahwa RotCCW dipengaruhi oleh *Memory* M1 atau M2 serta *photo fiber sensor* 1 aktif. RotCW diberhentikan oleh 3 *step* setelahnya yakni *rotary cylinder down* (M3), *Vacuum pad* aktif dan *rotary cylinder up* (M5).



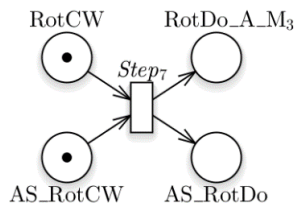
Gambar 3.45 PN step 6



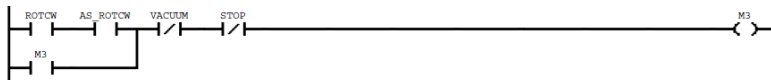
Gambar 3.46 Ladder diagram step 6

➤ *Step 7*

Rotary cylinder bergerak ke bawah setelah *Auto switch sensor* mendeteksi *rotary cylinder* bergerak CW (AS_RotCW) dan *Relay* RotCW aktif seperti pada Gambar 3.47. Sehingga *ladder diagram* yang diperoleh sebagai berikut (Gambar 3.48).



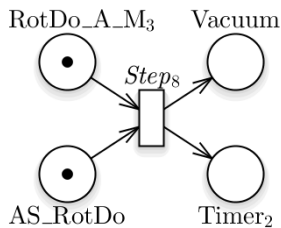
Gambar 3.47 PN step 7



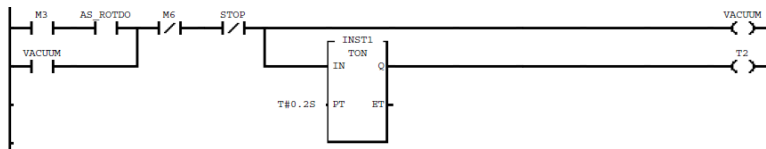
Gambar 3.48 Ladder diagram step 7

➤ *Step 8*

Vacuum pad aktif ketika *rotary cylinder* bergerak ke bawah (RotDo) dan telah terdeteksi oleh *Auto switch sensor* (AS_RotDo) seperti pada Gambar 3.49. *Timer 2* digunakan untuk memberikan jeda kerja *Vacuum pad* sebelum *step* berikutnya. Konversi PN ke LD dapat dilihat pada Gambar 3.50.



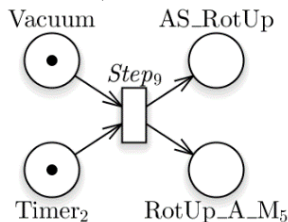
Gambar 3.49 PN step 8



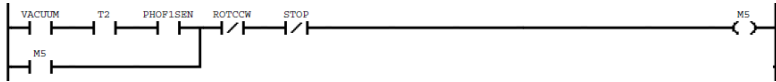
Gambar 3.50 Ladder diagram step 8

➤ *Step 9*

Rotary cylinder bergerak vertikal ke atas (RotUp_A_M5) ketika *Vacuum pad* aktif dan *Timer 2* telah aktif seperti pada Gambar 3.51. Sehingga konversi PN ke *ladder diagram* yang diperoleh adalah sebagai berikut (Gambar 3.52).



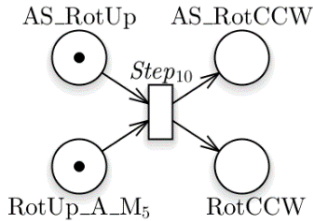
Gambar 3.51 PN step 9



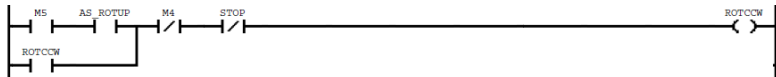
Gambar 3.52 Ladder diagram step 9

➤ *Step 10*

Setelah (RotUp_A_M5) aktif maka *Auto switch sensor* akan mendeteksi keberadaan *rotary cylinder* tersebut sehingga AS_RotUp aktif maka *step 10* aktif seperti pada Gambar 3.53. Konversi *ladder diagram* seperti pada Gambar 3.54.



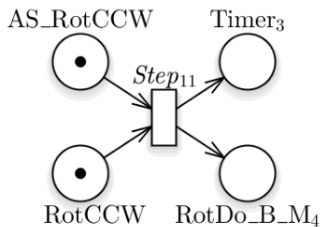
Gambar 3.53 PN step 10



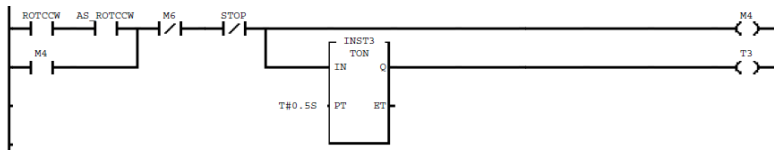
Gambar 3.54 Ladder diagram step 10

➤ *Step 11*

Rotary cylinder bergerak ke bawah (RotDo_B_M4) aktif ketika *rotary cylinder* telah bergerak CCW dan telah terdeteksi oleh *Auto switch sensor* seperti pada Gambar 3.55. *Timer 3* digunakan untuk memberikan jeda *step 12* dan digunakan untuk menonaktifkan *Vacuum pad*. Sehingga *ladder diagram* yang diperoleh adalah sebagai berikut Gambar 3.56.



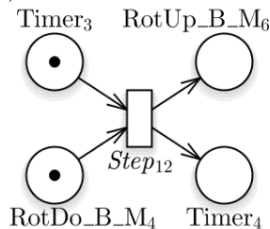
Gambar 3.55 PN step 11



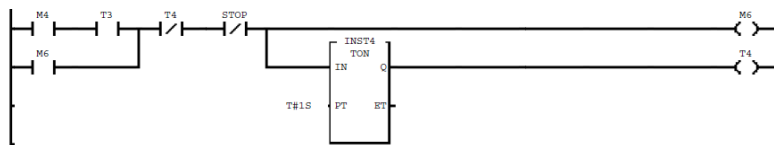
Gambar 3.56 Ladder diagram step 11

➤ *Step 12*

Setelah *rotary cylinder* bergerak kebawah aktif (RotDo_B_M4) dan *Timer 3* telah aktif maka *rotary cylinder* bergerak ke atas aktif (RotUp_B_M6) seperti pada Gambar 3.57. *Timer 4* digunakan untuk memberhentikan *rung step 12*. *Ladder diagram step 12* sebagai berikut (Gambar 3.58).

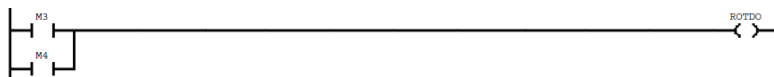


Gambar 3.57 PN step 12

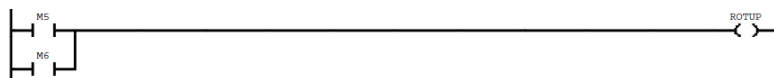


Gambar 3.58 Ladder diagram step 12

M3, M4, M5 dan M6 pada program *ladder diagram* diinisialkan seperti pada Gambar 3.59 dan Gambar 3.60 sebagai berikut.



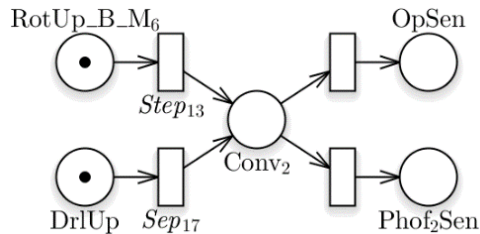
Gambar 3.59 Ladder diagram rotary cylinder down



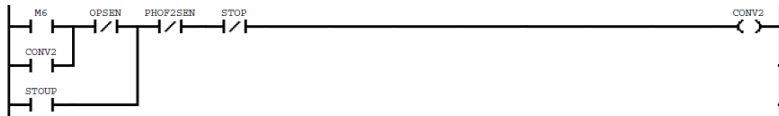
Gambar 3.60 Ladder diagram rotary cylinder up

➤ *Step 13*

Konveyor 2 aktif ketika *rotary cylinder* bergerak ke atas (RotUp_B_M6) dan ketika benda kerja telah terdeteksi oleh *optical sensor* (OpSen) maka konveyor akan berhenti seperti pada Gambar 3.61. Konveyor 2 akan aktif kembali ketika *Machine drill* bergerak ke atas (DrIUp) aktif dan berhenti ketika benda kerja telah terdeteksi oleh *photo fiber sensor* 2. *Ladder diagram* step 13 seperti pada Gambar 3.62.



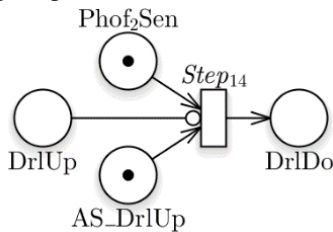
Gambar 3.61 PN step 13



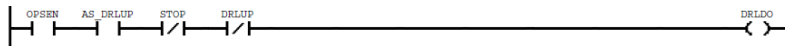
Gambar 3.62 Ladder diagram step 13

➤ *Step 14*

Machine drill bergerak ke bawah apabila benda kerja telah terdeteksi oleh *optical sensor* (OpSen) dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *Machine drill* up (AS_DrIUp) dan diberhentikan oleh *Machine drill* bergerak ke atas (DrIUp) seperti pada Gambar 3.63. Sehingga *ladder diagram* seperti pada Gambar 3.64 berikut.



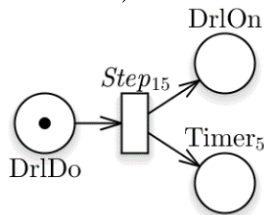
Gambar 3.63 PN step 14



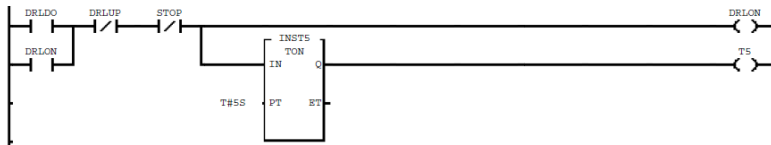
Gambar 3.64 Ladder diagram step 14

➤ *Step 15*

Machine drill bergerak ke bawah aktif maka *step 15* aktif (*Machine drill on*) seperti pada Gambar 3.65. *Timer 5* digunakan untuk memberikan jeda pada proses produksi *Machine drill* serta dijadikan sebagai syarat aktif untuk *step* berikutnya. Berikut *ladder diagram* yang dihasilkan (Gambar 3.66).



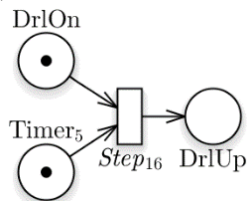
Gambar 3.65 PN step 15



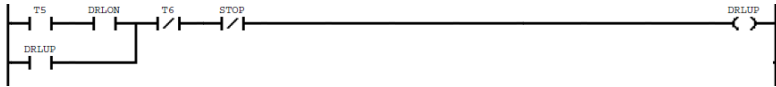
Gambar 3.66 Ladder diagram step 15

➤ *Step 16*

Setelah kontaktor *Timer 5* aktif (*T5*) dan *Machine drill on* (*DrIOn*) aktif maka *Machine drill* untuk bergerak ke atas aktif seperti pada Gambar 3.67. Sehingga *ladder diagram* yang diperoleh sebagai berikut (Gambar 3.68).



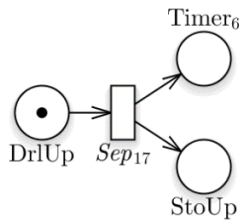
Gambar 3.67 PN step 16



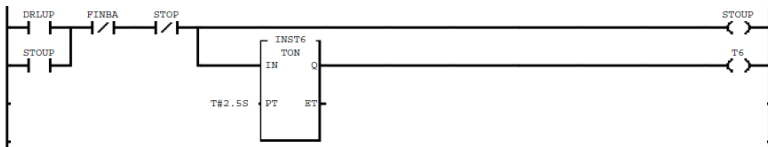
Gambar 3.68 Ladder diagram step 16

➤ *Step 17*

Ketika *Machine drill* bergerak ke atas (DrlUp) aktif maka *stopper* bergerak ke atas (StoUp) juga aktif seperti pada Gambar 3.69. Kontaktor *Timer 6* digunakan untuk jeda proses berikutnya dan secara tidak langsung untuk memberhentikan StoUp. Berikut *ladder diagram* yang diperoleh (Gambar 3.70).



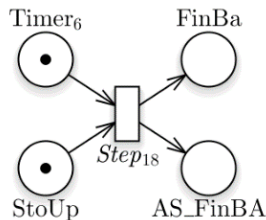
Gambar 3.69 PN step 17



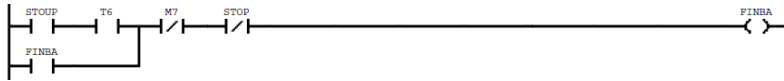
Gambar 3.70 Ladder diagram step 17

➤ *Step 18*

Ketika kontaktor *Timer 6* aktif dan StoUp aktif maka *step 18* aktif, yakni *finger cylinder* bergerak *backward* (FinBa) seperti pada Gambar 3.71. Sehingga *ladder diagram* yang dihasilkan adalah seperti pada Gambar 3.72 berikut.



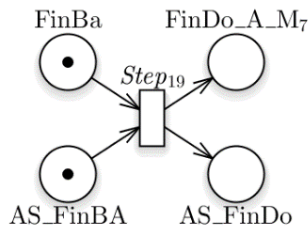
Gambar 3.71 PN step 18



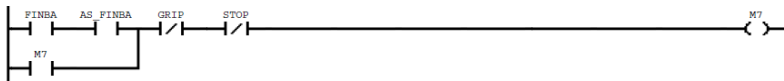
Gambar 3.72 Ladder diagram step 18

➤ *Step 19*

Auto switch sensor telah mendeteksi posisi *finger cylinder* bergerak *backward* (AS_FinBa) sehingga *finger cylinder* aktif untuk bergerak ke bawah (FinDo_A_M7) seperti pada Gambar 3.73. Konversi *ladder diagram* yang diperoleh adalah sebagai berikut (Gambar 3.74).



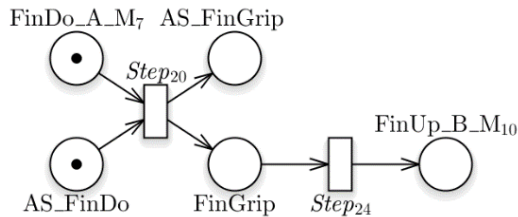
Gambar 3.73 PN step 19



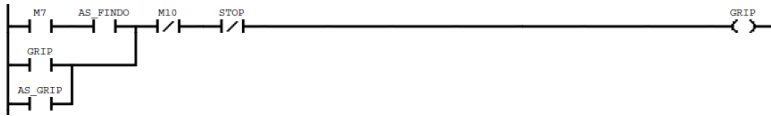
Gambar 3.74 Ladder diagram step 19

➤ *Step 20*

Finger grip aktif ketika *finger cylinder* bergerak ke bawah (FinDo) dan telah terdeteksi oleh AS_FinDo seperti pada Gambar 3.75. *Finger grip* akan terus aktif sampai dengan *step* ke 24 aktif. Sehingga LD yang dihasilkan adalah sebagai berikut (Gambar 3.76).



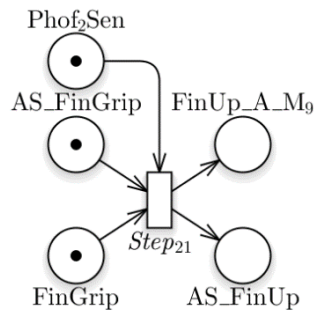
Gambar 3.75 PN step 20



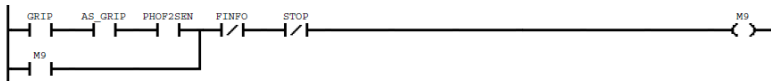
Gambar 3.76 Ladder diagram step 20

➤ **Step 21**

Benda telah dijepit oleh *Finger grip* sehingga terdeteksi oleh sensor *auto switch* (AS_FinGrip) dan benda kerja terdeteksi oleh *photo fiber sensor* 2 maka *finger cylinder* aktif seperti pada Gambar 3.77. Konversi LD yang diperoleh adalah sebagai berikut (Gambar 3.78).



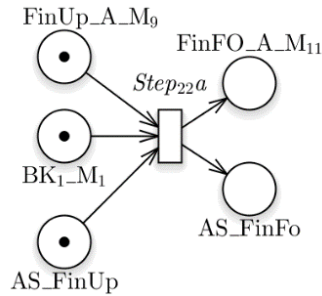
Gambar 3.77 PN step 21



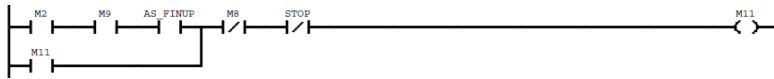
Gambar 3.78 Ladder diagram step 21

➤ **Step 22a**

Finger cylinder bergerak foward setelah *finger cylinder* bergerak ke atas (FinUp_A_M9) dan terdeteksi oleh *Auto switch sensor* (AS_FinUp) serta benda yang dibawa adalah jenis benda kerja 1 (M1) seperti pada Gambar 3.79. Sehingga *ladder diagram* yang dihasilkan adalah sebagai berikut (Gambar 3.80).



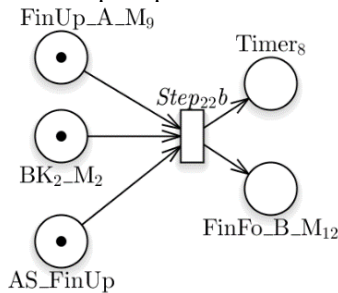
Gambar 3.79 PN step 22a



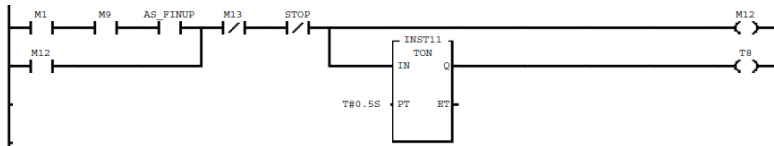
Gambar 3.80 Ladder diagram step 22a

➤ *Step 22b*

Untuk jenis benda kerja 2 (M2) maka diberikan *Timer 8* untuk mempercepat aksi *step* berikutnya (0.5 detik). Sehingga ketika *finger cylinder* bergerak *foward* selama 0.5 detik maka *step* berikutnya langsung dikerjakan seperti pada Gambar 3.81. Berikut *ladder diagram* yang dihasilkan seperti pada Gambar 3.82.



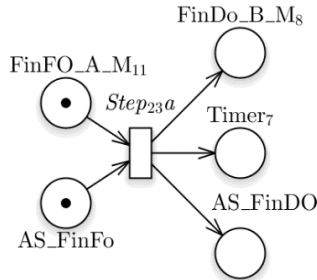
Gambar 3.81 PN step 22b



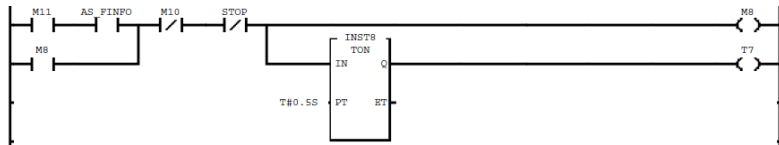
Gambar 3.82 Ladder diagram step 22b

➤ *Step 23a*

Setelah *step 22a*, ketika *finger cylinder* telah bergerak *foward* dan terdeteksi oleh *Auto switch sensor* maka *finger cylinder* aktif untuk bergerak ke bawah seperti pada Gambar 3.83. *Timer 7* digunakan untuk memberikan jeda *Finger grip* melepaskan benda kerja. Sehingga *ladder diagram*nya sebagai berikut (Gambar 3.84).



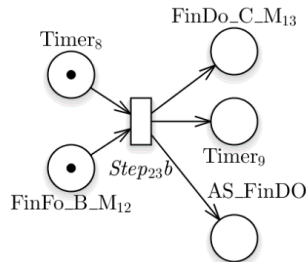
Gambar 3.83 PN step 23a



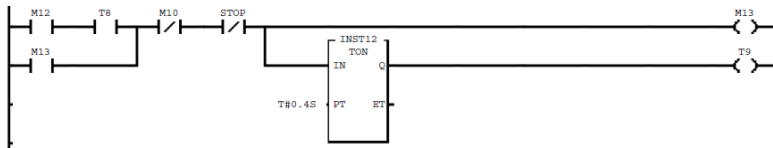
Gambar 3.84 Ladder diagram step 23a

➤ *Step 23b*

Setelah *step 22a*, *finger cylinder* aktif bergerak ke bawah (*FinDo_C_M13*) ketika *Timer 8* aktif. *Timer 9* digunakan untuk memberikan jeda *Finger grip* melepaskan benda kerja seperti pada Gambar 3.85. Sehingga *ladder diagram* yang dihasilkan adalah sebagai berikut (Gambar 3.86).



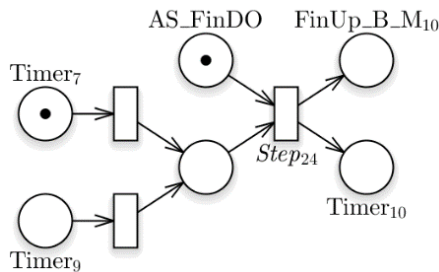
Gambar 3.85 PN step 23b



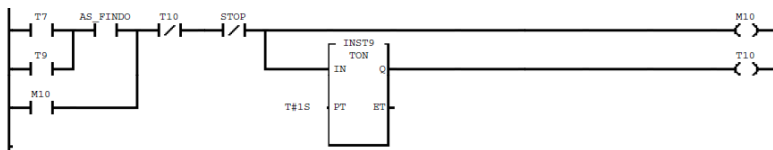
Gambar 3.86 Ladder diagram step 23b

➤ **Step 24**

Step 24 aktif ketika *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *finger cylinder* bergerak ke bawah serta antara *Timer 7* atau *Timer 9* aktif seperti pada Gambar 3.87. Sehingga *ladder diagram* yang diperoleh seperti pada Gambar 3.88.

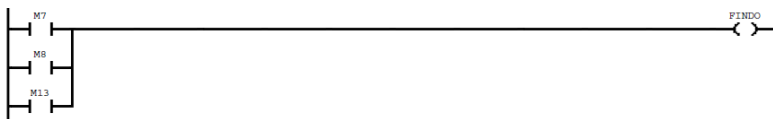


Gambar 3.87 PN step 24

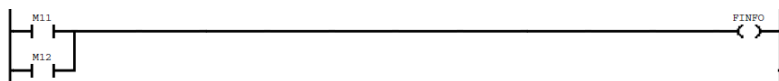


Gambar 3.88 Ladder diagram step 24

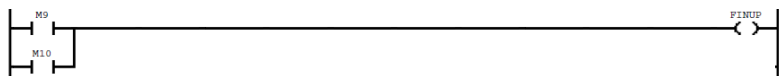
Berikut merupakan inisialisasi *finger cylinder down* (FinDo) pada Gambar 3.89, *Finger cylinder foward* (FinFo) pada Gambar 3.90 dan *finger cylinder up* (FinUp) pada Gambar 3. 91.



Gambar 3.89 Ladder diagram FinDo



Gambar 3.90 *Ladder diagram FinFo*



Gambar 3. 91 *Ladder diagram FinUp*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

IMPLEMENTASI DAN ANALISA

Program *ladder diagram* diimplementasikan pada *programmable logic controller* (PLC) LG Glofa untuk menjalankan *plant factory automatic trainer* (FAT). Tentunya sebelum itu program harus disimulasikan terlebih dahulu untuk menghindari kesalahan (*error*) program yang dapat berakibat pada kerusakan alat.

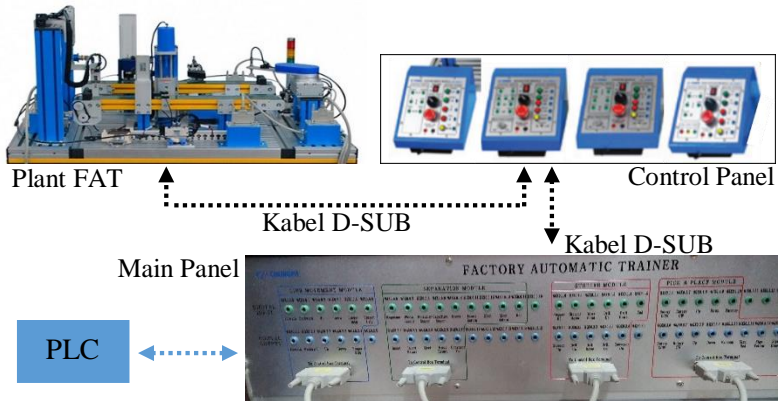
4.1 Proses Implementasi

Proses implementasi dilakukan untuk menjalankan sistem otomasi pada *plant factory automatic trainer* (FAT) sehingga dapat berjalan sesuai dengan perancangan yang telah dirumuskan. Komponen yang berperan sebagai keberhasilan proses implementasi adalah kontroler (PLC).

Untuk menjalankan *plant* FAT menggunakan PLC perlu adanya pengkabelan yang menghubungkan I/O PLC dengan komponen *plant*. PLC dikonfigurasi dengan *personal computer* (PC) sebagai media pemrograman dan untuk *download* program dari PC ke PLC.

4.1.1 Pengkabelan

Pada *plant* FAT, untuk pengoperasian secara otomatis dikendalikan oleh program PLC. *Plant* FAT yang telah terhubung dengan *control panel* dihubungkan ke *main panel* yang terhubung ke terminal PLC melalui kabel D-SUB seperti pada Gambar 4.1. Untuk memulai pengendalian secara otomatis, pada setiap control panel diatur `Auto`.

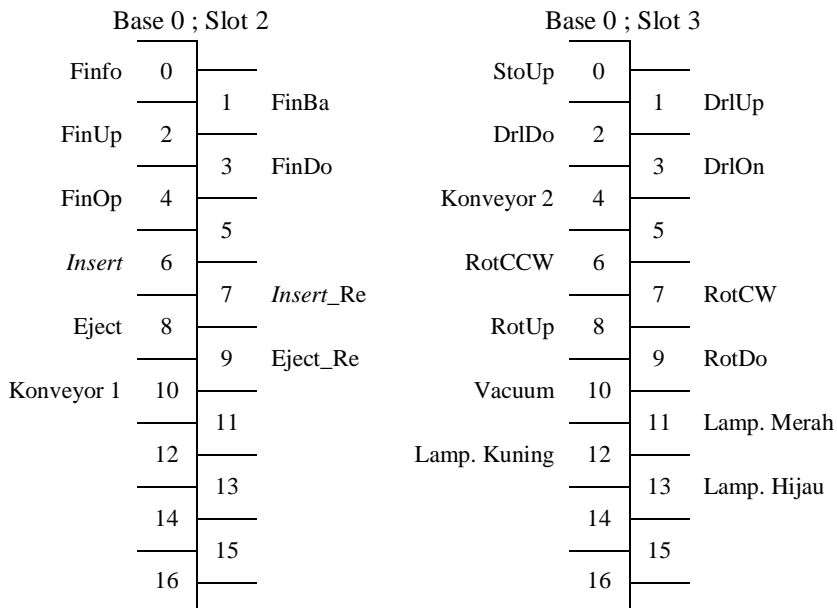


Gambar 4.1 Wiring sistem FAT

Main panel terhubung dengan I/O PLC yang tersedia 2 modul *input* (slot 0 dan slot 1) dan 2 modul *output* (slot 2 dan slot 3). Berikut merupakan *wiring I/O (input dan output)* PLC yang terhubung dengan *main panel* seperti pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

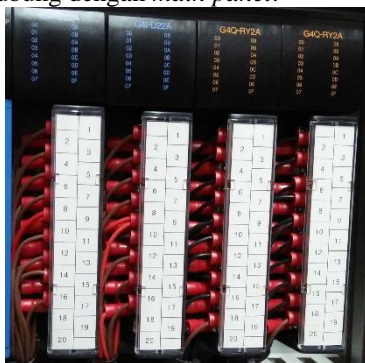
Base 0 ; Slot 0			Base 0 ; Slot 1		
AS_Finfo	0		AS_StoUp	0	
	1	AS_FinBa		1	AS_StoDo
AS_FinUp	2		OpSen	2	
	3	AS_FinDo		3	AS_DrlUp
AS_FinOp	4		AS_DrlDo	4	
	5	AS_FinGrip		5	Phof2Sen
MagSen	6		AS_RotCCW	6	
	7	PhoSen		7	AS_RotCW
ProSen	8		AS_RotUp	8	
	9	CapSen		9	AS_RotDo
AS_Insert	10		AS_Vac	10	
	11	AS_Insert_Re		11	STOP
AS_Eject	12			12	
	13	AS_Eject_Re		13	
Phof1Sen	14			14	
	15	START		15	
	16			16	

Gambar 4.2 *Wiring input PLC LG*



Gambar 4.3 Wiring output PLC LG

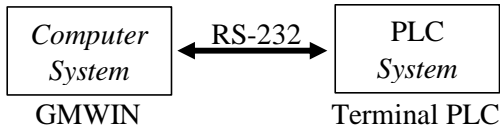
Berikut pada Gambar 4.4 merupakan hasil pengakabelan terminal PLC LG yang terhubung dengan *main panel*.



Gambar 4.4 Hasil pengakabelan

4.1.2 Konfigurasi

Program PLC yang digunakan untuk menjalankan *plant* FAT di *download* dari *computer system* (laptop). Untuk mengkomunikasikan PC dengan PLC diperlukan kabel serial sebagai modul komunikasi, dalam hal ini digunakan RS-232 seperti pada Gambar 4.5 berikut.



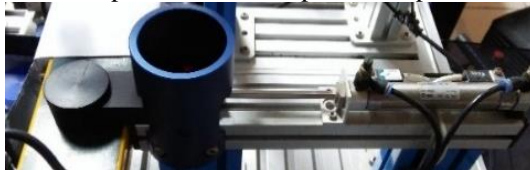
Gambar 4.5 Konfigurasi PC ke PLC

4.2 Uji Sistem

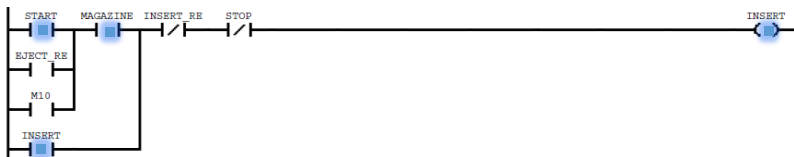
Setelah proses pengunduhan program dari PC ke PLC telah berhasil maka proses pada FAT telah bisa dijalankan, pada waktu yang bersamaan *ladder diagram* pada layar PC dapat termonitor, berikut merupakan implementasi program pada *plant* FAT.

➤ Step 1

Benda kerja diletakkan pada *magazine supply* sehingga terdeteksi oleh sensor *magazine* kemudian tombol START ditekan maka pneumatik *supply* bergerak untuk memasukan benda seperti pada Gambar 4.6 dan implementasi LD dapat dilihat pada Gambar 4.7



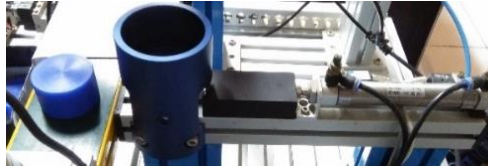
Gambar 4.6 Cylinder insert benda kerja



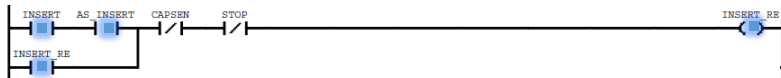
Gambar 4.7 Implementasi LD step 1

➤ *Step 2*

Auto switch sensor mendeteksi posisi pneumatik sedang bergerak *insert* maka mengaktifkan pneumatik untuk bergerak *return* seperti pada Gambar 4.8. Berikut pada Gambar 4.9 merupakan implementasi LD step 2.



Gambar 4.8 *Cylinder bergerak return*



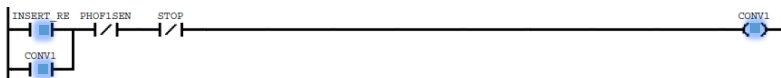
Gambar 4.9 Implementasi LD *step 2*

➤ *Step 3*

Konveyor 1 aktif seperti pada Gambar 4.10 saat pneumatik bergerak *insert* dan konveyor akan diberhentikan oleh *photo fiber sensor* 1. berikut *ladder diagram* yang aktif seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Konveyor 1 aktif



Gambar 4.11 Implementasi LD *step 3*

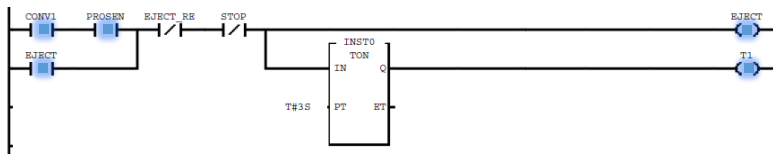
➤ *Step 4*

Konveyor 1 aktif, sehingga benda kerja dibawa menuju deteksi sensor. Apabila benda kerja terdeteksi oleh *proximity sensor* maka benda di pisahkan dari konveyor menggunakan pneumatik *double*

acting seperti pada Gambar 4.12. Sehingga *ladder diagram* yang diimplementasikan sebagai berikut (Gambar 4.13).



Gambar 4.12 Cylinder mendorong benda kerja



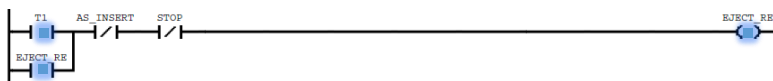
Gambar 4.13 Implementasi LD *step 4*

➤ *Step 5*

Timer pada *step 4* digunakan untuk mengaktifkan *step 5*, yakni pneumatik akan kembalike posisi semula (*eject return*) seperti pada gambar Gambar 4.14. Implementasi LD seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.14 Cylinder *eject return*



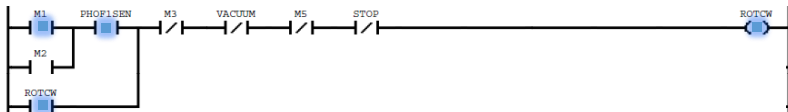
Gambar 4.15 Implementasi LD *step 5*

➤ *Step 6*

Benda kerja yang terklasifikasi sebagai M1 atau M2 dan telah terdeteksi oleh *photo fiber sensor* 1 maka *rotary cylinder* bergerak CW seperti pada Gambar 4.16. Implementasi *ladder diagram* seperti pada Gambar 4.17.



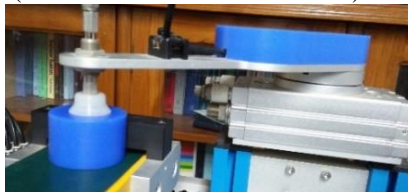
Gambar 4.16 *Rotary cylinder* bergerak CW



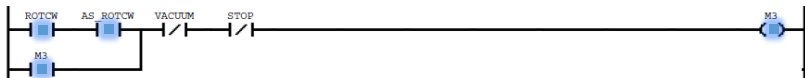
Gambar 4.17 Implementasi LD *step 6*

➤ *Step 7*

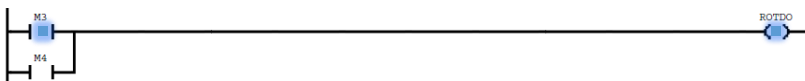
Rotary cylinder bergerak ke bawah seperti pada Gambar 4.18 setelah *step 6* telah dikerjakan dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *rotary cylinder* bergerak ke bawah. Berikut implementasi *ladder diagram* *step 7* (Gambar 4.19 dan Gambar 4.20).



Gambar 4.18 *Rotary cylinder* bergerak ke bawah



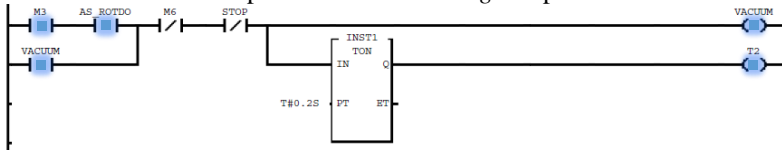
Gambar 4.19 Implementasi LD *step 7* (1)



Gambar 4.20 Implementasi LD *step 7* (2)

➤ *Step 8*

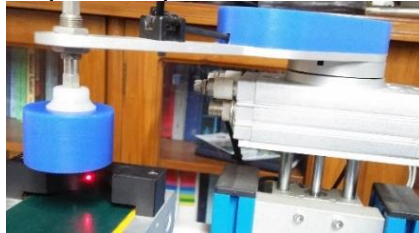
Vacuum aktif untuk menyerap benda setelah *step 7* terpenuhi dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *rotary cylinder* bergerak ke bawah. Berikut implementasi *ladder diagram* pada Gambar 4.21.



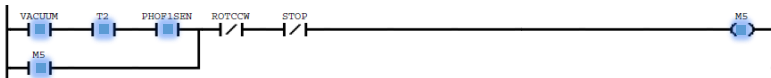
Gambar 4.21 Implementasi LD *step 8*

➤ *Step 9*

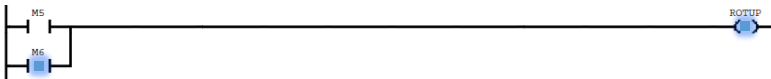
Step 8 telah terpenuhi, *Timer* pada *step 8* juga terpenuhi dan *photo fiber sensor* 1 juga mendeteksi benda kerja sehingga *rotary cylinder* bergerak ke atas seperti pada Gambar 4.22. Sehingga implementasi *ladder diagram* dapat dilihat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.



Gambar 4.22 *Rotary cylinder* bergerak ke atas



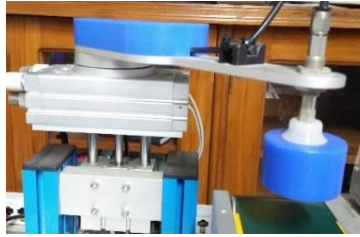
Gambar 4.23 Implementasi LD *step 9* (1)



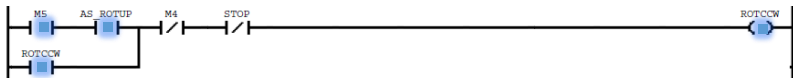
Gambar 4.24 Implementasi LD *step 9* (2)

➤ *Step 10*

Setelah *step 9* terpenuhi dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *rotary cylinder* bergerak ke atas maka *rotary cylinder* bekerja untuk bergerak CCW seperti pada Gambar 4.25. Berikut aplikasi *ladder digram* *step 10* (Gambar 4.26).



Gambar 4.25 Rotary cylinder bergerak CCW



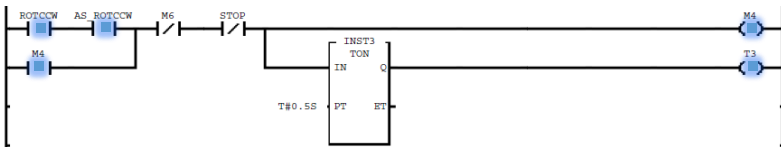
Gambar 4.26 Implementasi LD step 10

➤ *Step 11*

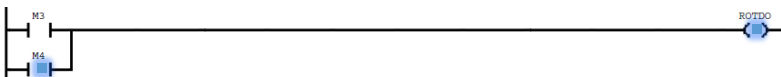
Rotary cylinder bergerak ke bawah seperti pada Gambar 4.27 setelah step 10 telah terpenuhi dan Auto switch sensor telah mendeteksi posisi rotary cylinder CCW. Berikut ladder diagram yang di aplikasikan (Gambar 4.28 dan Gambar 4.29).



Gambar 4.27 Rotary cylinder bergerak ke bawah



Gambar 4.28 Implementasi LD step 11 (1)



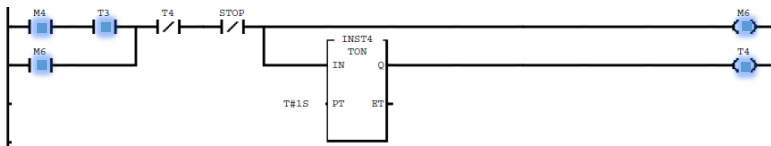
Gambar 4.29 Implementasi LD step 11 (2)

➤ *Step 12*

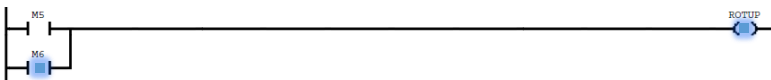
Setelah *step 11* telah terpenuhi maka *vacuum off* sehingga benda terlepas dari pad dan *rotary cylinder* bergerak ke atas seperti pada Gambar 4.30 untuk *standby* setelah *Timer* pada 11 terpenuhi. Aplikasi *ladder diagram* (Gambar 4.31 dan Gambar 4.32).



Gambar 4.30 *Rotary cylinder* bergerak ke atas (*standby*)



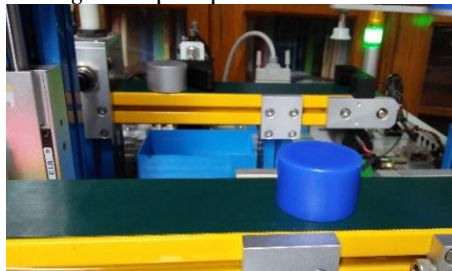
Gambar 4.31 Implementasi LD *step 12* (1)



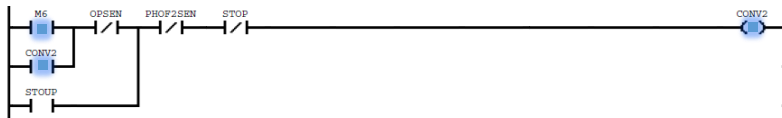
Gambar 4.32 Implementasi LD *step 12* (2)

➤ *Step 13*

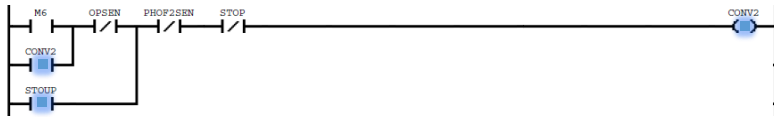
Konveyor 2 aktif seperti pada Gambar 4.33 ketika *step 12* telah terpenuhi dan aktif kembali setelah proses produksi telah selesai. Aplikasi *ladder diagram* seperti pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35.



Gambar 4.33 Konveyor 2 aktif



Gambar 4.34 Implementasi LD *step* 13 (1)



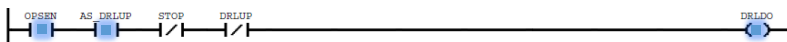
Gambar 4.35 Implementasi LD *step* 13 (2)

➤ *Step* 14

Machine drill bergerak ke bawah seperti pada Gambar 4.36 setelah benda kerja terdeteksi oleh *optical sensor*. Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram* seperti pada Gambar 4.37.



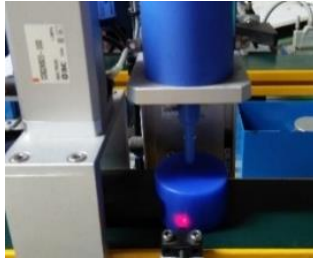
Gambar 4.36 *Machine drill* bergerak ke bawah



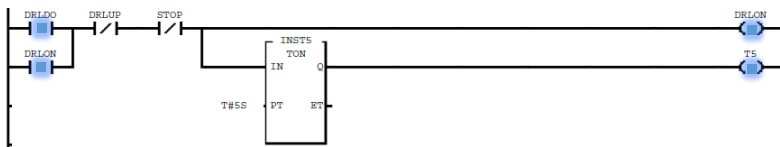
Gambar 4.37 Implementasi LD *step* 14

➤ *Step* 15

Machine drill melakukan proses produksi seperti pada Gambar 4.38 setelah *step* 14 telah terpenuhi. Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram* (Gambar 4.39). proses produksi dikerjakan dengan waktu tertentu, dalam hal ini diasumsikan selama 5 detik.



Gambar 4.38 *Machine drill* aktif



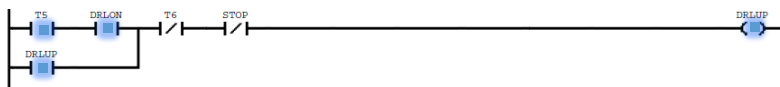
Gambar 4.39 Implementasi LD step 15

➤ *Step 16*

Setelah proses produksi telah selesai dikerjakan maka *Machine drill* bergerak ke atas seperti pada Gambar 4.40. Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram* seperti pada Gambar 4.41.



Gambar 4.40 *Machine drill* bergerak ke atas



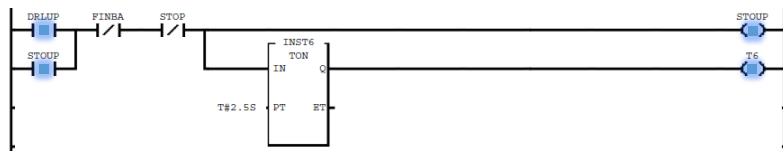
Gambar 4.41 Implementasi LD step 16

➤ *Step 17*

Stopper bergerak ke atas seperti pada Gambar 4.42 untuk membuka jalur pada konveyor 2 setelah *step* 16 telah selesai dikerjakan. Berikut aplikasi *ladder diagram* *step* 17 (Gambar 4.43).



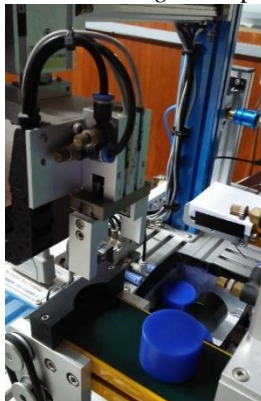
Gambar 4.42 *Stopper* bergerak ke atas



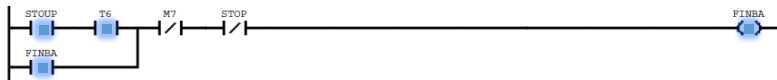
Gambar 4.43 Implementasi LD *step* 17

➤ *Step 18*

Step 17 telah selesai dikerjakan dan *Timer* pada *step* 17 digunakan untuk mengaktifkan *step* 18 seperti pada Gambar 4.44. Berikut merupakan implementasi *ladder diagram* seperti pada Gambar 4.45.



Gambar 4.44 *Finger cylinder* bergerak *backfoward*



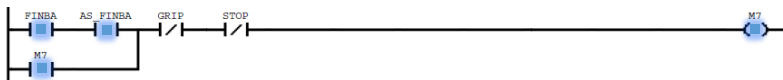
Gambar 4.45 Implementasi LD *step 18*

➤ *Step 19*

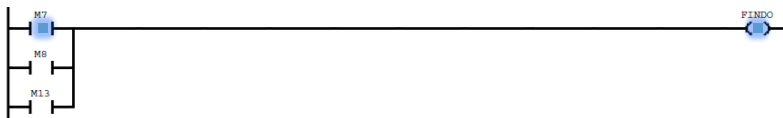
Setelah *step 18* dikerjakan dan *Auto switch sensor* mendeteksi posisi *finger cylinder backward* aan aktif sehingga *step 19* aktif (*finger cylinder* bergerak ke bawah seperti pada Gambar 4.46). Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram step 19* (Gambar 4.47 dan Gambar 4.48).



Gambar 4.46 *Rotary cylinder* bergerak ke bawah



Gambar 4.47 Implementasi LD *step 19* (1)



Gambar 4.48 Implementasi LD *step 19* (2)

➤ *Step 20*

Setelah *step 19* selesai dikerjakan dan posisi *finger cylinder* bergerak ke bawah telah terdeteksi oleh *Auto switch sensor* maka *finger grip* akan aktif untuk menjepit benda kerja hasil produksi seperti pada

Gambar 4.49. Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram step* ke-20 (Gambar 4.50).



Gambar 4.49 *Finger grip* menjepit benda hasil produksi



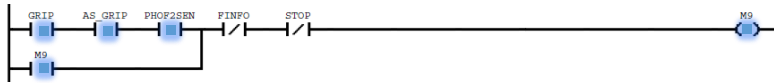
Gambar 4.50 Implementasi LD *step* 20

➤ *Step* 21

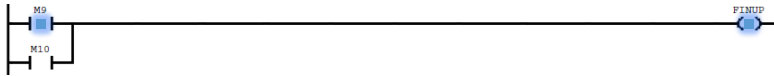
Finger cylinder bergerak ke atas seperti pada Gambar 4.51 untuk membawa benda kerja hasil produksi. *Step* 21 aktif apabila *step* 20 telah selesai dikerjakan dan *finger grip closed* terdeteksi oleh *Auto switch sensor*. Sehingga aplikasi *ladder diagram step* 21 seperti pada Gambar 4.52 dan Gambar 4.53.



Gambar 4.51 *Finger cylinder* bergerak ke atas



Gambar 4.52 Implementasi LD *step 21* (1)



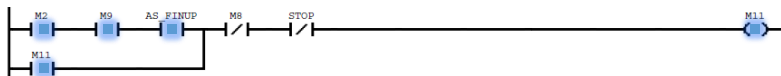
Gambar 4.53 Implementasi LD *step 21* (2)

➤ *Step 22 a*

Finger cylinder bergerak *foward* seperti pada Gambar 4.54 untuk membawa benda kerja hasil produksi menuju pengepakan kedua. Benda kerja yang dibawa adalah benda kerja 2 (M2). *Step 22a* aktif jika *step 21* telah dikerjakan dan terdeteksi oleh *Auto switch sensor*. Sehingga aplikasi *ladder diagram* sebagai berikut (Gambar 4.55).



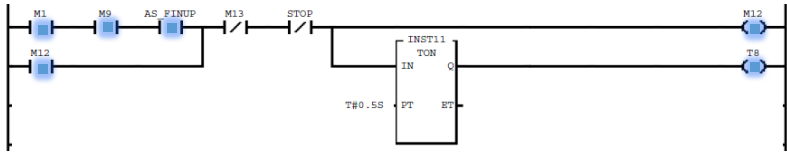
Gambar 4.54 *Finger cylinder* bergerak *foward*



Gambar 4.55 Implementasi LD *step 22a*

➤ *Step 22 b*

Pada Gambar 4.56 merupakan implementasi *ladder diagram* yang digunakan untuk mengaktifkan *finger cylinder* bergerak *foward* dengan penambahan *Timer* untuk dijadikan sebagai aksi *step 23b*. Berdasarkan hasil pengujian, *Timer* yang digunakan sesuai dengan yang dibutuhkan.



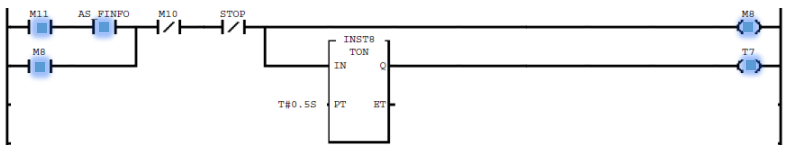
Gambar 4.56 Implementasi LD *step 22b*

➤ *Step 23 a*

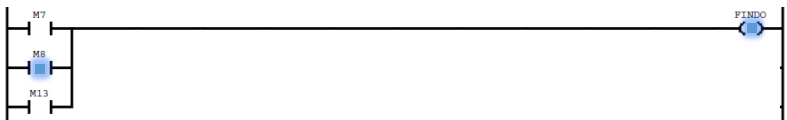
Finger cylinder bergerak ke bawah seperti pada Gambar 4.57 setelah *step 22a* telah terpenuhi dan deteksi *Auto switch sensor* aktif. Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram* pada *step 23a* (Gambar 4.58 dan Gambar 4.59).



Gambar 4.57 *finger cylinder* menuju pengepakan 2



Gambar 4.58 Implementasi LD *step 23a* (1)



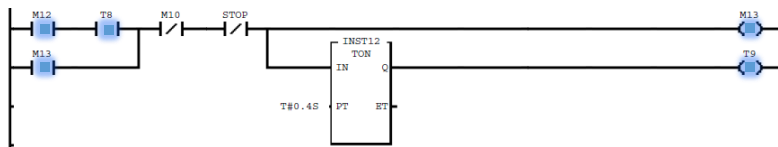
Gambar 4.59 Implementasi LD *step 23a* (2)

➤ *Step 23 b*

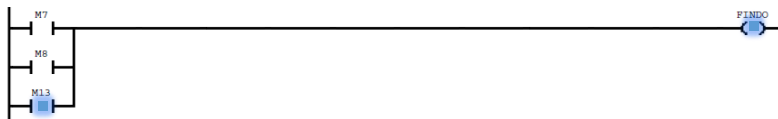
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan bahwa *finger cylinder* bergerak ke bawah menuju pengepakan pertama dan melepaskan benda di pengepakan pertama seperti pada Gambar 4.60, hal ini sesuai dengan yang telah rumuskan. *Step 23b* merupakan lanjutan *step 22b*, yakni *finger cylinder* bergerak ke bawah ketika *Timer* pada *step 22b* telah terpenuhi. Dalam waktu bersamaan maka *finger grip* membuka sehingga benda kerja hasil produksi terlepas. Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram* pada *step 23b* seperti pada Gambar 4.61 dan Gambar 4.62.



Gambar 4.60 Finger cylinder menuju pengepakan 1



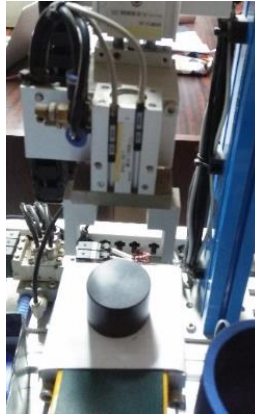
Gambar 4.61 Implementasi LD *step 23b* (1)



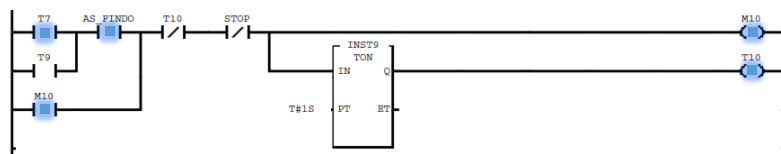
Gambar 4.62 Implementasi LD *step 23b* (2)

➤ **Step 24**

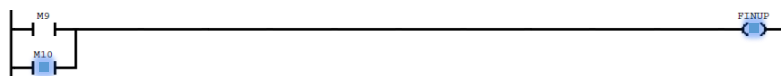
Step 24 adalah *finger cylinder* bergerak ke atas setelah melepaskan benda untuk *standby* ke posisi semula seperti pada Gambar 4.63. *Step* ini dikerjakan apabila *step 23a* atau *step 23b* telah selesai dikerjakan. Berikut merupakan aplikasi *ladder diagram step 24* (Gambar 4.64 dan Gambar 4.65).



Gambar 4.63 *Finger grip* melepaskan benda kerja



Gambar 4.64 Implementasi LD *step 24* (1)



Gambar 4.65 Implementasi LD *step 24* (2)

4.2.1 Hasil Pengujian

Pengujian pada FAT dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk satu jenis produksi benda kerja. Benda kerja yang diproduksi adalah benda kerja berwarna hitam jenis material plastik (M2) dan benda kerja berwarna hijau jenis material plastik (M1). Hasil pengujian yang telah dilakukan telah sesuai dengan teori yang telah digunakan, yakni konstruksi LD dari hasil konversi PN dengan cara *self-holding* membuat

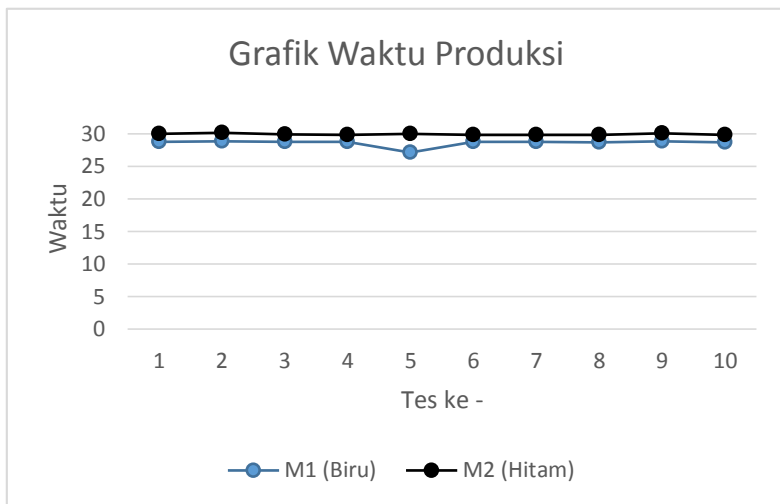
rung pada konstruksi LD menjadi lebih sedikit. Dihasilkan 36 *rung* yang tersusun atas 20 *rung output*, 13 *rung relay* dan 3 *rung* indikator lampu. 20 *rung output* tersebut terhubung ke *plant* sehingga menjalankan proses. Berikut merupakan hasil pengujian sistem FAT seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian pada FAT

Tes ke -	Waktu Proses (detik)	
	M1 (Biru)	M2 (Hitam)
1	28.79	30.01
2	28.82	30.11
3	28.74	29.92
4	28.75	29.83
5	27.15	29.97
6	28.77	29.85
7	28.78	29.83
8	28.68	29.86
9	28.82	30.10
10	28.71	29.81

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.1 diperoleh bahwa waktu yang dibutuhkan untuk sekali proses produksi benda kerja 1 rata-rata 28,60 detik dan benda kerja 2 rata-rata 29,92 detik sehingga untuk rata-rata proses produksi 1 benda kerja adalah 29,26 detik.

Siklus proses produksi benda kerja M1 (Jenis material plastik dan berwarna biru) lebih cepat daripada benda kerja M2 (jenis material plastik dan berwarna hitam) karena letak pengepakan benda kerja M1 lebih dekat daripada benda kerja M2. Berikut merupakan grafik hasil pengujian proses produksi pada plant FAT dapat dilihat pada Gambar 4.66.



Gambar 4.66 Grafik waktu hasil pengujian

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a) Berdasarkan uji sistem yang telah dilakukan pada *step* 1 sampai *step* 24, diketahui bahwa implementasi yang dilakukan pada FAT telah sesuai dengan perancangan yang telah dirumuskan.
 - Konversi *petri net* dibuat dengan cara *self-hoding* sesuai dengan teori yang digunakan
 - Proses produksi dilakukan untuk sekali produksi bahan baku benda kerja
 - Untuk bahan baku yang tidak sesuai dengan kebutuhan produksi maka dikeluarkan dari proses pengiriman barang
- b) Hasil konstruksi *ladder* diagram yang dihasilkan sejumlah 36 *rung*. Waktu yang dibutuhkan untuk sekali proses produksi adalah 29,26 detik.
 - Kontruksi LD berupa rangkaian *self-holding* sesuai dengan cara konversi yang digunakan
 - 36 rung tersusun atas 20 rung *output*, 13 rung relay dan 3 rung untuk indikator lampu
 - *Input* yang terpakai pada *plant* ialah 21 sensor dan *output* yang terpakai ialah 20.
 - Program LD tidak terjadi troubleshoot saat proses implementasi pada FAT dijalankan.

5.2 Saran

- a) Dalam penggunaan *Timer* untuk proses yang tidak menggunakan deteksi sensor, usahakan gunakan waktu yang relatif lebih singkat.
- b) dapat ditambahkan fungsi penghitung (*counter*) untuk mengetahui jumlah produk yang telah dibuat selama proses berlangsung. Atau dibuat untuk menentukan jumlah perakitan benda kerja dalam satu kali siklus produksi.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

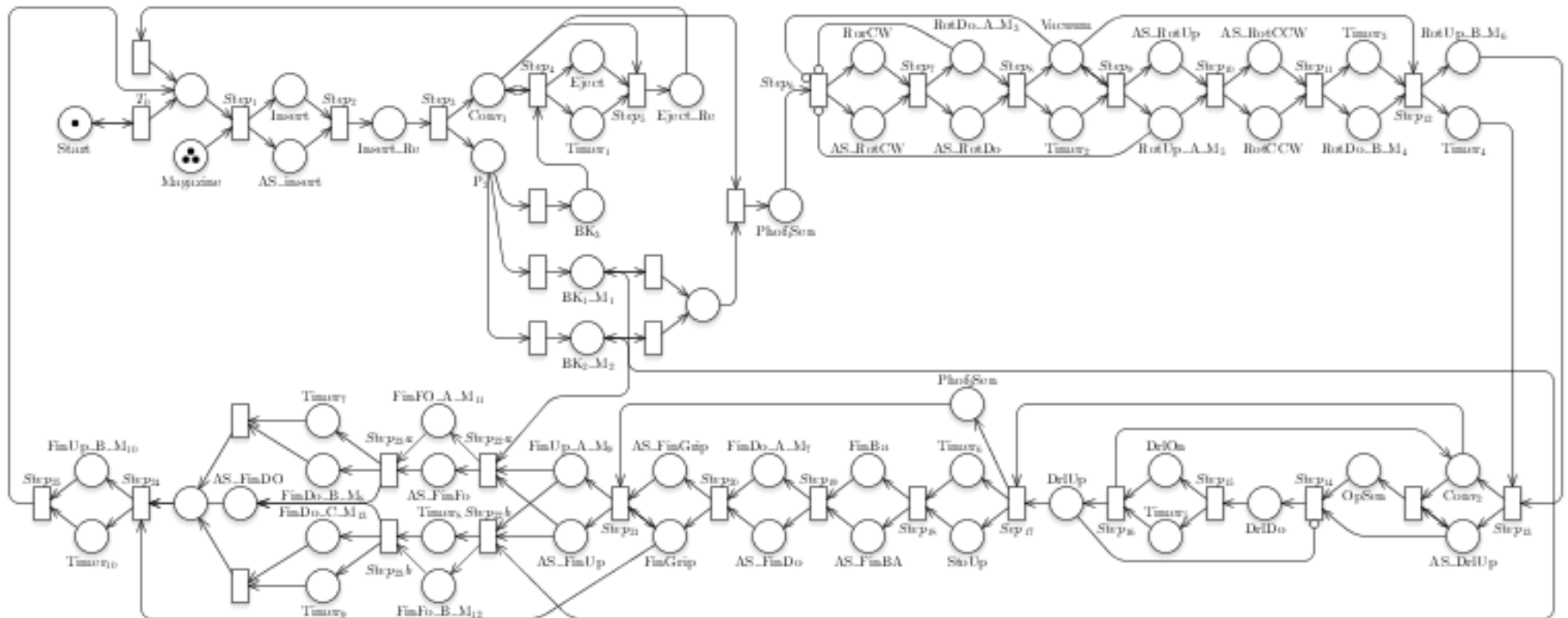
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Factory Automatic Trainer CPE-AT8030N, "User's Manual," CHUNGPA.
- [2] R. Ramanathan, "The IEC 61131-3 Programming Languages Features for Industrial Control System," dalam *World Automation Congress*, German, 2014.
- [3] J.-L. Chirn dan D. McFarlane, "Petri Net Based Design of Ladder Logic Diagram," dalam *Conference Paper*, Cambridge UK, September 2000.
- [4] 9th TOTAL CATALOGUE, "Manual of Sensor," Autonics.
- [5] Global Reader JRT, "Established FA (Factory Automation) Pneumatic Research Institute," Korea, 1995, pp. 350-388.
- [6] G. Schneider, Cutting Tool Applications, Handbook, Michigan: Lawrence Technological University, 2002, p. Ch. 8.
- [7] Parallel Style Air Gripper Series MHZ, "Manual of Finger Cylinder," SMC Corporation, Japan.
- [8] LG Industrial System, "Glofa GM Series, Handbook," Leader in Electrics & Automation, Seoul-Korea, 2003.
- [9] Y. Cohen, M.-E. Wang dan B. Bidanda, "Automation Translation of a Process Level Petri-Net to a Ladder Diagram," dalam *Conference Paper*, Raanana-Israel, 18 November 2015.
- [10] J.-S. Lee dan P.-L. Hsu, "A New Approach to Evaluate Ladder Logic Diagrams and Petri Nets via The If-Then Transformation," *IEEE Conference*, vol. 4, pp. 2711-2716, 2001.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

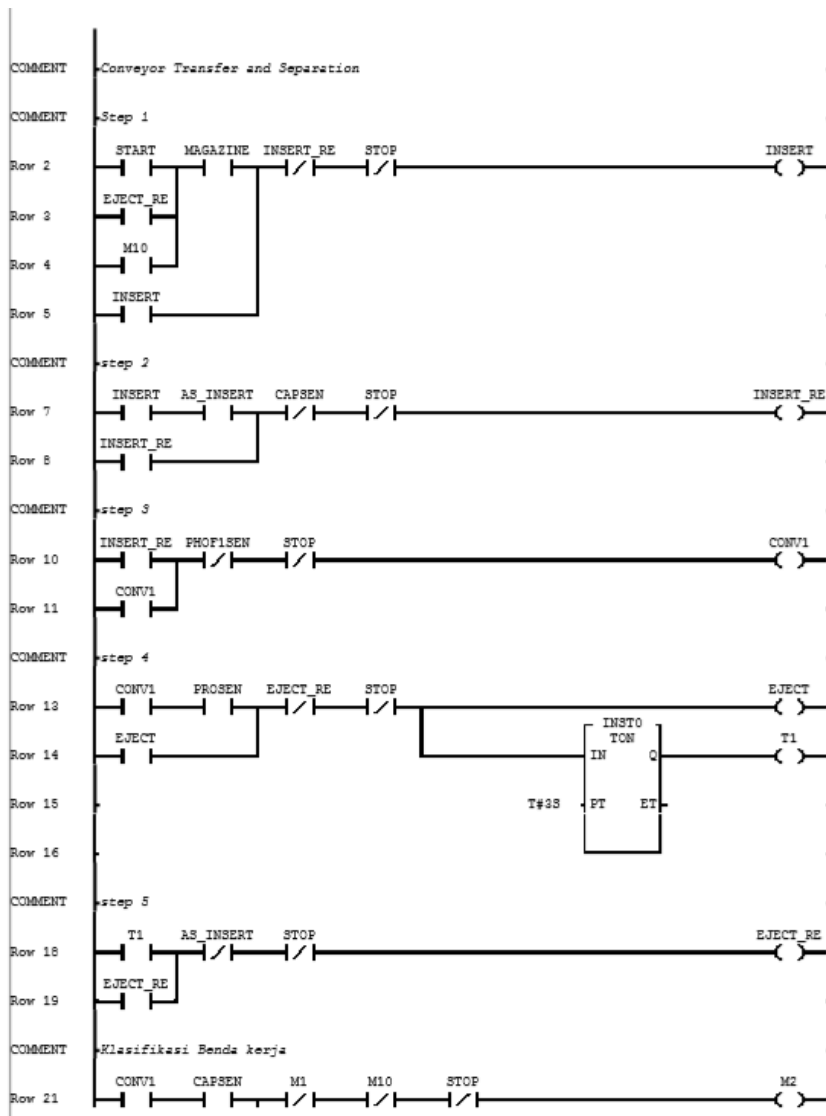
LAMPIRAN

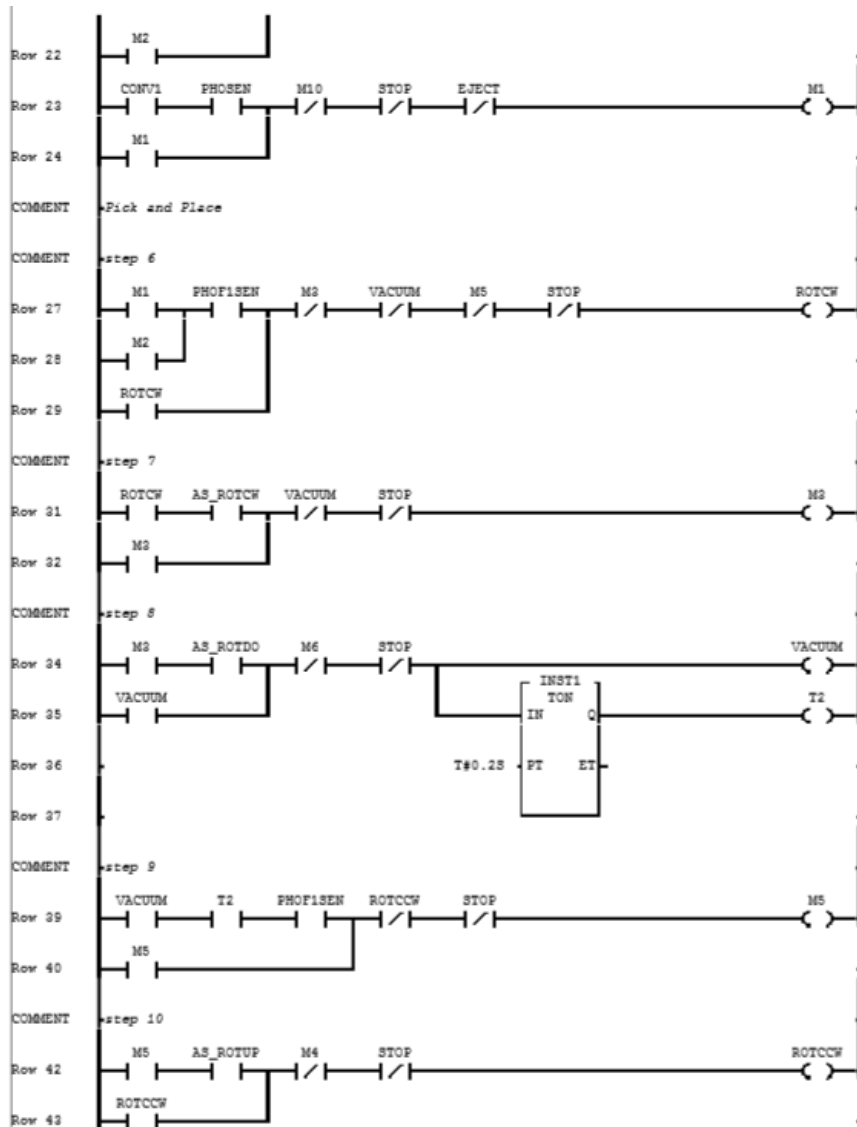
Pemodelan *Petri net* Sistem Otomasi FAT

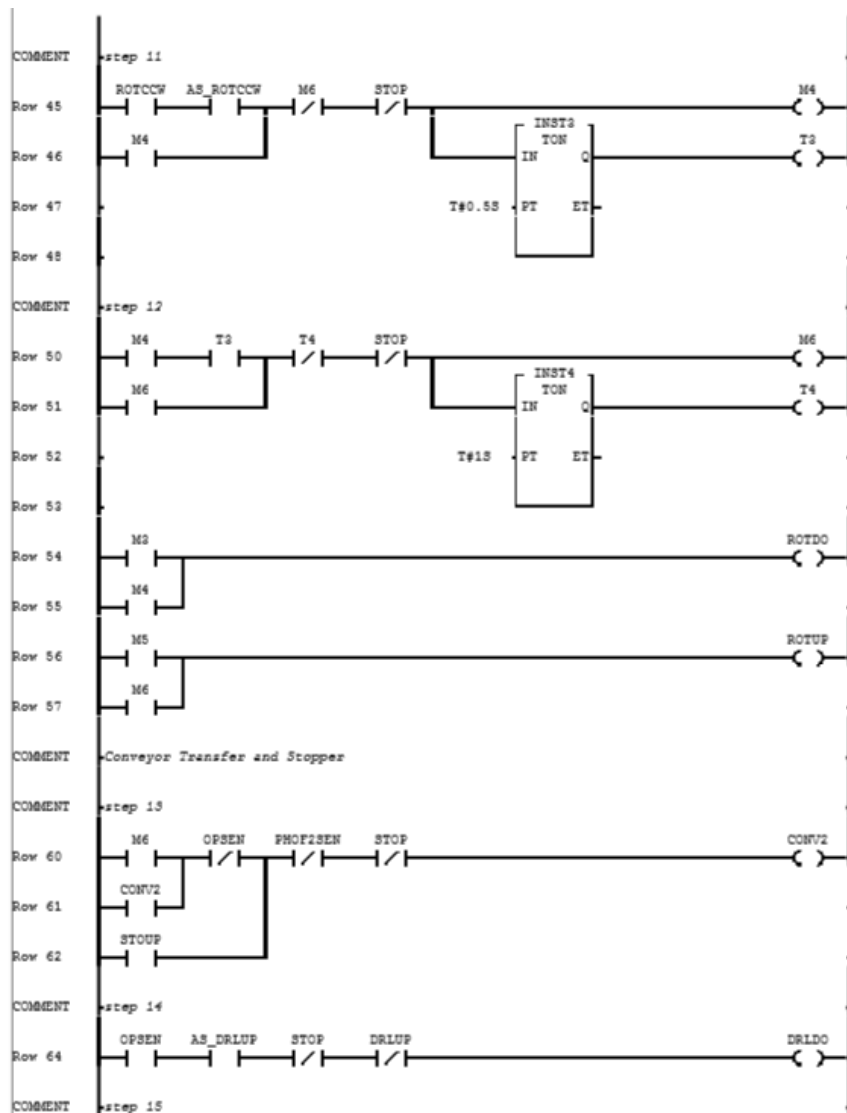


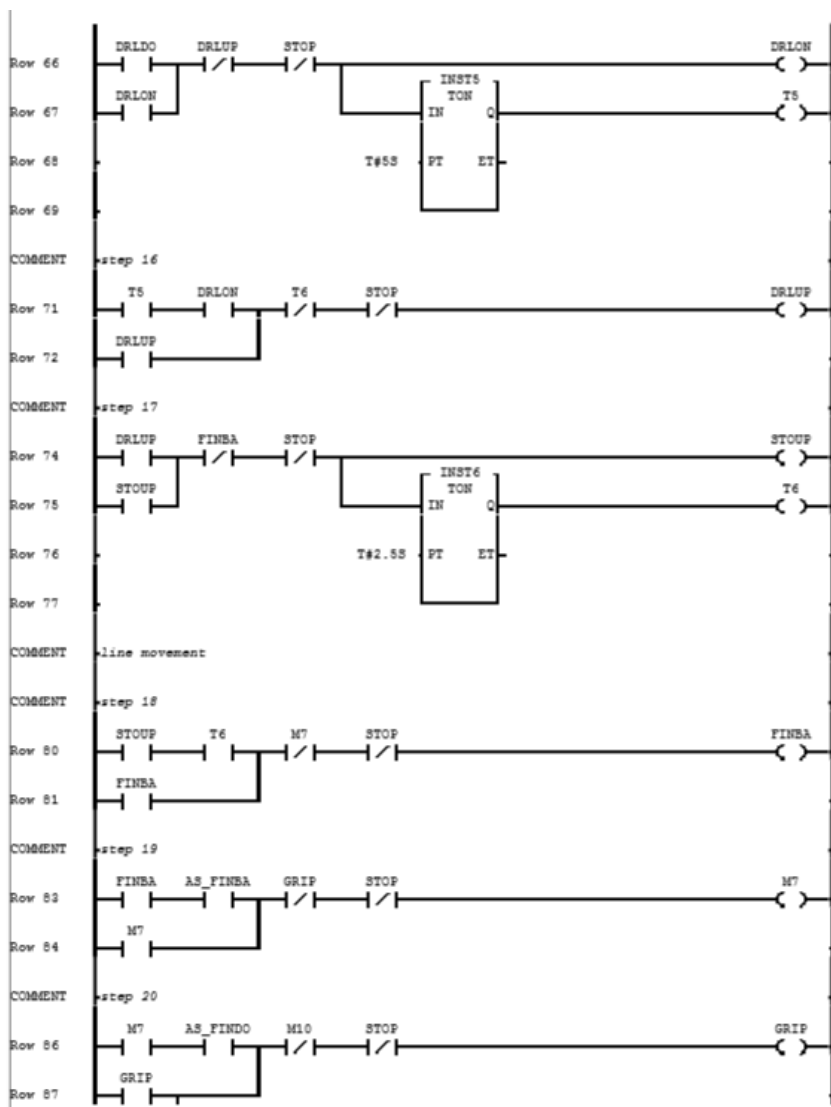
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

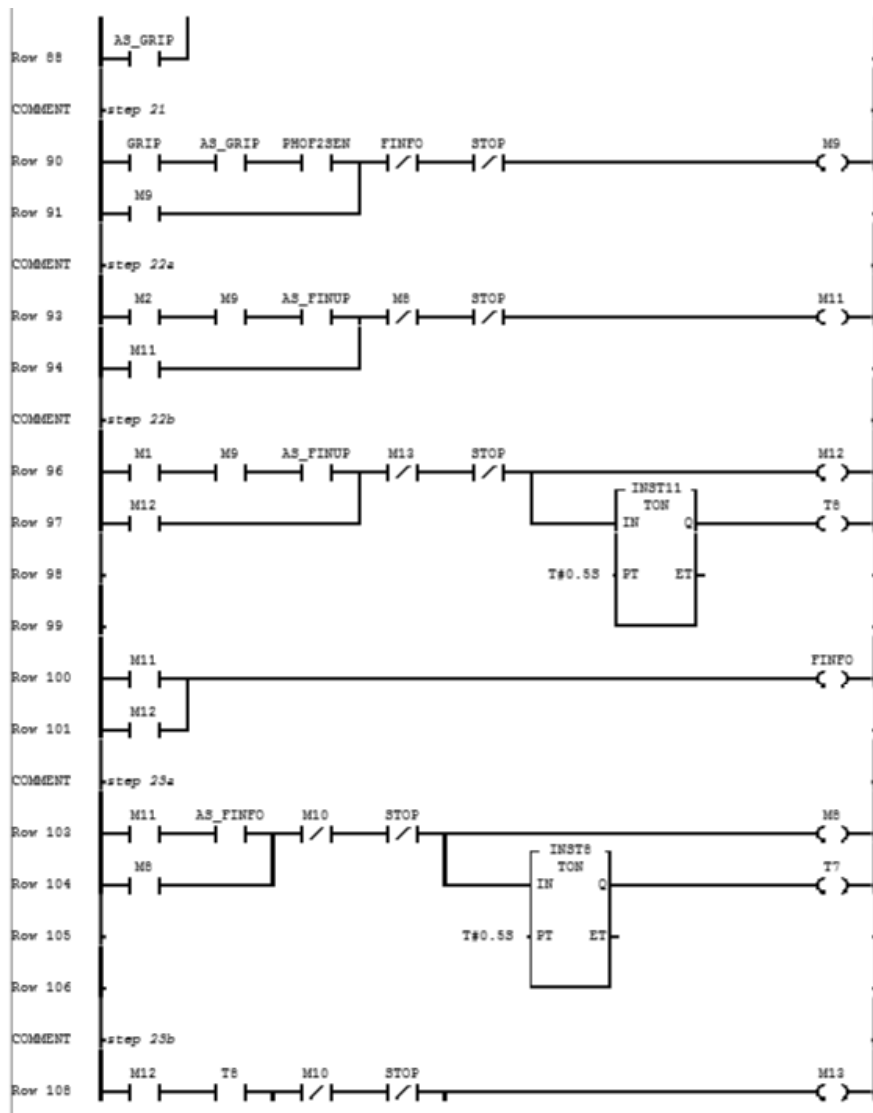
Program Ladder FAT

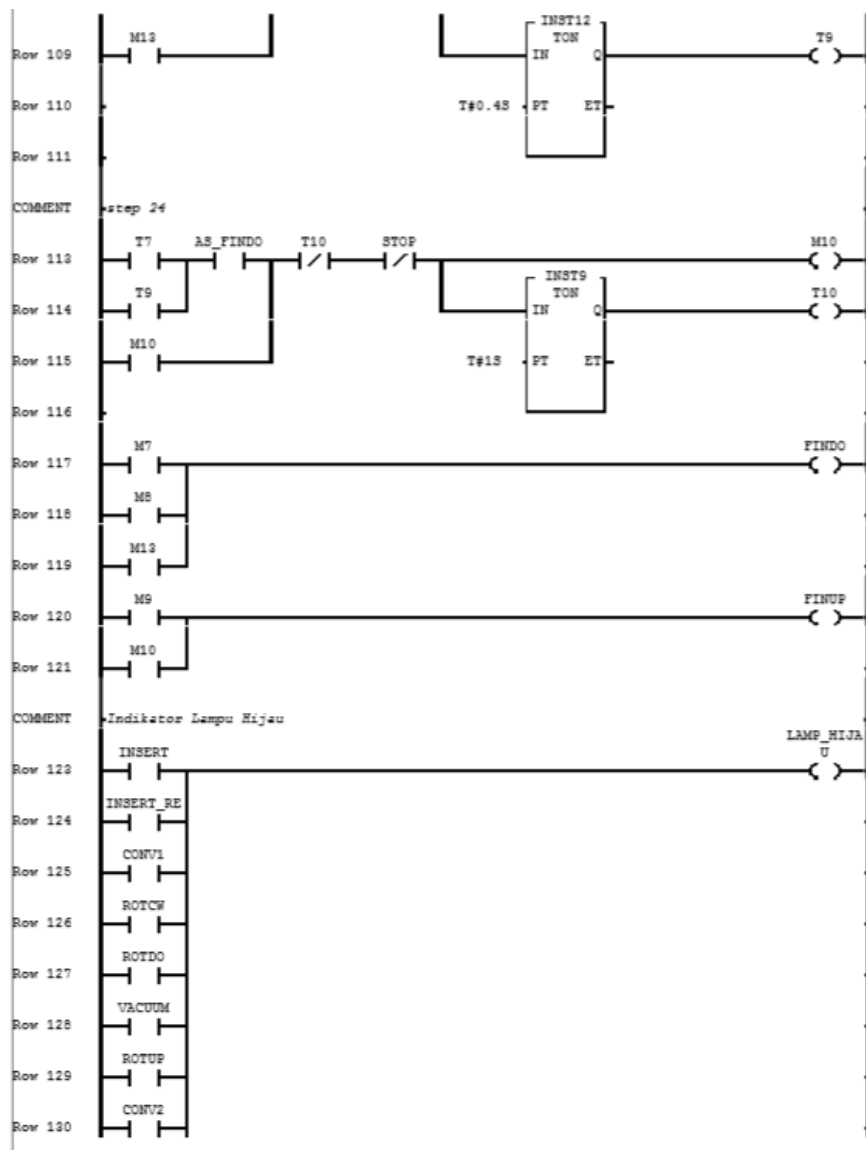


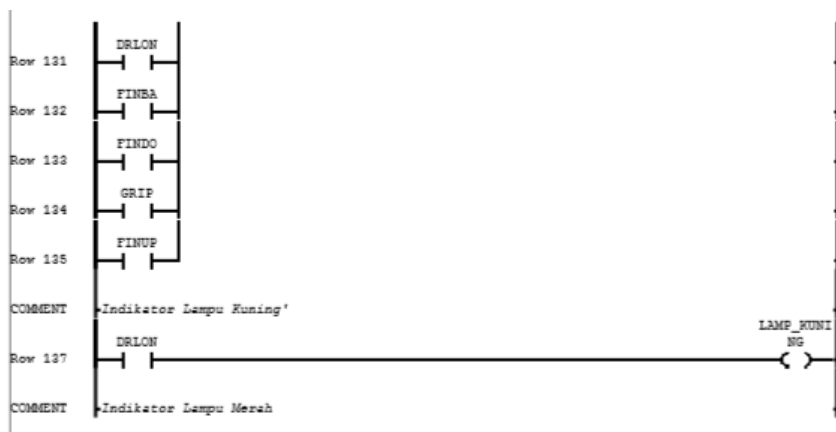












[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT HIDUP



M . Sunardi, lahir di lamongan pada tanggal 06 januari 1996. Putra kedua dari pasangan ayahanda Kaseno dan Ibunda Karpini. Setelah menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 1 Banjarejo, SMP Muhammadiyah 23 Banjarejo dan SMA Negeri 1 Babat, penulis melanjutkan kuliah sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopemebar Surabaya dengan mengambil Departemen Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan.